



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# SEGREGACE SMĚSÍ DO VOZOVEK POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

THE SEGRAGATION OF MIXTURES TO PAVEMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. DUŠAN TRÁVNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Dušan Trávníček
<b>Název</b>	Segregace směsí do vozovek pozemních komunikací
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2013
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	17. 1. 2014
V Brně dne 31. 3. 2013	

.....  
doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

ČSN EN řady 933

a další související normy a předpisy

věřejně přístupné články a literatura z internetu

výzkumné zprávy zabývající se zadanou problematikou

diplomové práce s podobnou problematikou

sborníky českých a zahraničních technických konferencí  
apod.

## **Zásady pro vypracování**

Práce má investigativní charakter. Zabývá se sledováním vlastnosti (segregace) nestmelených a stmelených směsí používaných do konstrukcí vozovek, kterou se do nedávna nikdo v ČR nezabýval. Jedná se negativní vlastnost směsí ve smyslu snížení parametrů např. únosnosti, odolnosti proti klimatickým vlivům a trvanlivosti hotových vrstev vozovek. Zjištění nějaké závislosti laboratorně zjištěné segregace s běžnými vstupními parametry směsí by znamenalo zjištění náchylnosti stavebních směsí již ve fázi jejich návrhu s následnou možností úpravy např. složení stavební směsi.

## **Předepsané přílohy**

.....

Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

### **Abstrakt**

Práce se zabývá sledováním vzniku a potlačování segregace v asfaltových směsích. V teoretické části je monitorována současná situace problému segregace, která se týká především praktických úprav při pokládkách „rizikových“ asfaltových směsí na vznik segregovaných míst v krytových vrstvách vozovek. V praktické části práce je shrnuto měření na šesti vzorcích nejčastěji používaných asfaltových směsí za účelem zjištění závislosti segregace na zvolených parametrech. Je popsána a zhodnocena zkouška pro stanovení segregace dle normy ČSN EN 12697-15.

### **Klíčová slova**

Asfaltová směs, segregace, teplotní segregace, materiálová segregace, stroje pro úpravu směsi, segregátor, síťový rozbor, frakce

### **Abstract**

The work deals with the examination of repression and segregation in asphalt mixtures. The theoretical part is monitoring the current situation about the problem of segregation, which mainly refers to the practical adjustments during laying „risking“ asphalt mixtures on the formation of segregated places in the shelter layers of roads. The practical parts of the thesis are summarised measurements on six samples of the most commonly used asphalt mixtures to determine the segregation depending on the selected parameters. The work is describing and valorising a test for determining segregation according to ČSN EN 12697-15.

### **Keywords**

The asphalt mixture, segregation, thermal segregation, segregation of material, material transfer vehicles, segregator, sieve analysis, fractions

**Bibliografická citace VŠKP**

TRÁVNÍČEK, Dušan. *Segregace směsí do vozovek pozemních komunikací*. Brno, 2013. 94 s., 1 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 16. 1. 2014

.....  
Bc. Dušan Trávníček

### **Poděkování**

Na tomto místě chci poděkovat Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D., vedoucímu práce, za odborné vedení, připomínky a informace. Dále pracovníkům silniční laboratoře Pavlu Strakovi a Matěji Šafránkovi za ochotnou pomoc a nakonec své rodině a blízkým za podporu, která se mi dostávala po celou dobu mého studia.

## Obsah

Úvod .....	10
Cíl práce .....	11
1 Asfaltové směsi .....	12
1.1 Vlastnosti asfaltových směsí .....	13
1.2 Funkční zkoušky asfaltových směsí .....	14
1.3 Druhy asfaltových směsí .....	16
1.3.1 Hutněné asfaltové směsi s plynulou čarou zrnitosti .....	16
1.3.2 Hutněné asfaltové směsi s přerušenou čarou zrnitosti .....	17
1.3.3 Nehutněné asfaltové směsi .....	18
2 Segregace .....	19
2.1 Segregace sypkých materiálů .....	20
2.2 Význam segregace v technické praxi .....	21
2.2.1 Náchylnost sypkého materiálu k segregaci .....	22
2.3 Způsoby segregace .....	23
2.3.1 Volný pád .....	23
2.3.2 Klidný proud toku .....	23
2.3.3 Segregace v zásobnících .....	24
3 Eliminace segregace plněním nákladních vozidel .....	26
4 Vozidla pro úpravu směsi před pokládkou .....	28
4.1 Vozidlo Shuttle Buggy .....	28
4.2 Vozidlo MTV-1000 .....	28
4.3 Příčiny vzniku prvního MTV .....	29
4.4 Proč se řeší problém segregace .....	30
4.5 Různé varianty strojů .....	31
4.5.1 Shuttle Buggy .....	32
4.5.2 MTV – 1000 .....	33
4.6 Zhodnocení vozidel MTV .....	34
5 Zkoušení .....	35
5.1 Význam a použití zkoušky .....	35
5.2 Zkušební zařízení a pomůcky .....	35
5.3 Průběh zkoušky .....	36
5.3.1 Sběr a příprava vzorků .....	36
5.3.2 Postup zkoušky .....	36
5.4 Vyhodnocení stanovení segregace asfaltové směsi .....	42
5.4.1 Hodnota segregace kameniva .....	42
5.5 Vyhodnocení jednotlivých vzorků .....	43
5.5.1 VZOREK SMA 11S .....	45
5.5.2 VZOREK ACO 11S .....	51
5.5.3 VZOREK ACL 16+ .....	57



5.5.4	VZOREK ACP 16+.....	63
5.5.5	VZOREK ACL 22S .....	69
5.5.6	VZOREK ACP 22+.....	75
5.5.7	Shrnutí výsledků:.....	81
6	Závěr.....	85
7	Použitá literatura.....	86
8	Seznam obrázků .....	88
9	Seznam tabulek .....	90
10	Seznam zkratek .....	93
11	Seznam příloh.....	94

## Úvod

Slovo segregace pochází z latinského sé-gregó, odvozené od grex nebo gregis. Původně znamenalo oddělení nebo vyloučení ze stáda. Jako oddělení ho můžeme chápat i dnes.

[1]

Jedním z požadavků na pokládané asfaltové směsi do vrstev krytu vozovky je mimo jiné naprostá homogenita směsi. Pro maximální spolehlivost směsi je důležité, aby byly promíseny všechny frakce kameniva s pojivem důkladně a rovnoměrně. Při dopravě a pokládce směsi dochází jednak k vibracím a také se směs na některých místech ochlazuje více než jinde. Tím se narušuje dokonalé promísení z obalovny. Segregace směsí, která se projevuje zejména shlukováním kameniva o stejné frakci, přispívá k menší únosnosti a k častějším poruchám.

Již dříve vznikla ve světě snaha o eliminaci tohoto jevu. V Holandsku vznikla norma, která obsahuje zkoušku na stanovení hodnoty segregace asfaltových směsí. V České republice má tato norma název ČSN EN 12697-15 a převážně právě z ní v této práci vycházím.

Segregace je jev, který zatím z asfaltových směsí nelze zcela odstranit. Lze se na ni ale připravit a je důležité ji co nejvíce eliminovat.

## Cíl práce

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je nastíněn obecně princip segregace v sypkých materiálech, jako jsou písky nebo štěrky, obecně tedy u kameniva, následně je segregace popsána jako problém u asfaltových směsí. Asfaltovým směsím do krytů netuhých vozovek, zvláště za použití hrubozrnného kameniva, je věnována v teoretické části větší pozornost. V teoretické části práce je popsán rozdíl mezi tepelnou a materiálovou segregací a jak se tento problém rozhodla prakticky řešit jedna z významných amerických firem specializovaná kromě jiného také na technologii recyklace vozovek za studena.

V praktické části je popsána zkouška odolnosti asfaltových směsí proti segregaci dle ČSN EN 12697-15 provedena na vybraných, projektanty nejčastěji navrhovaných, asfaltových směsích. Asfaltové směsi byly zkoušeny vždy pro dvě teploty a to pro teplotu 100°C, považovanou za min. teplotu pro hutnění asfaltových směsí a pro teplotu 150°C, která představuje optimální hodnotu při hutnění směsí. Výsledky jsou vzájemně porovnávány. Rozdíl mezi nimi určil významnost vlivu teploty na výpočtovou hodnotu segregace.

Dále je v práci sledována závislost segregace na velikosti zrn a maximálního zrna v používaných asfaltových směsích. Jedná se především o asfaltové betony příslušné maximální velikosti zrna 16 a 22 mm. Práce obsahuje porovnání výsledků a určuje jaký vliv na segregaci má právě velikost zrn zkoušených směsí.

Snahou této práce je nalézt a predikovat problém segregace směsi již při jejím laboratorním návrhu, což by velmi efektivně snížilo náklady na sestavu při pokládce asfaltové směsi a včas upozornilo na možné problémy pokládaných směsí se segregací. Základem této snahy je posouzení vhodnosti použití evropské normy ČSN EN 12697-15 při návrzích především hrubozrnných asfaltových betonů.

## 1 Asfaltové směsi

Celkově se v České republice, bez uvažování účelových a místních komunikací, vyskytuje přibližně 55 700 km vozovek. Netuhé vozovky tvoří v naší zemi při různých modifikacích převážnou část všech používaných vozovkových krytů. Za zmínku jiného typu povrchu mohou stát pouze betonové povrchy, používané převážně na povrchy dálnic, případně rychlostních komunikací a letišť. Při uvážení, že celková délka dálnic v roce 2013 je v České republice asi 750 km a betonový povrch ještě není použit na celé délce, protože i na dálnicích se v určitých místech vyskytuje povrch asfaltový, je tvrzení o nejrozšířenějším asfaltovém povrchu potvrzeno. [2]

Se stále větší intenzitou silničního provozu a stále menší dotací od státu na výstavbu a opravu a údržbu komunikací roste snaha na výstavbu kvalitnějších asfaltových vrstev vozovky. Pro výstavbu kvalitní vozovky je třeba její správné složení a optimální výroba v obalovnách. Samotné složení a výroba, ale kvalitu nezaručí, protože asfaltové směsi jsou velmi náchylné na způsob dopravy a následnou pokládku na stavbě. Pro dopravu platí jistá pravidla, jako např. zakrývat plachtou korby vozidel převážející směs, nebo dokonce při větších vzdálenostech, nebo nepříznivých klimatických podmínkách je požadavek na vyhřívání směsi přímo na korbě automobilu, aby při dovozu na stavbu měla směs požadovanou teplotu. Právě při dopravě směsi na stavbu vzniká díky nehomogennímu ochlazování směsi a také díky různým vibracím směsi na korbě automobilu nebezpečí segregace materiálu.

Obdobná pravidla platí i pro pokládku směsi. Je nutné, aby byla zhutněna do doby, než její teplota klesne pod určitou mez, kdy je ještě zpracovatelná. Pokud bude ale přehutněna, nebo naopak nedohutněna, nebude mít předepsanou mezerovitost, čímž mohou vzniknout trvalé deformace, jako jsou vyjeté koleje.

Aby byla dodržena kvalita asfaltových směsí jak při návrhu, dopravě nebo pokládce je potřeba provádět zkoušky směsí, které všechny důležité vlastnosti ověřují. Díky tomu získáme takovou recepturu směsi, která bude co nejlépe odolávat vnějším účinkům a bude splňovat všechny naše požadavky.

## 1.1 Vlastnosti asfaltových směsí

Vlastnosti asfaltových směsí můžeme rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou empirické vlastnosti, které se dále dělí na vlastnosti empirické volumetrické a empirické mechanicko-fyzikální. Druhou skupinou vlastností jsou funkční vlastnosti asfaltových směsí. Rozdělení jednotlivých vlastností je uvedeno v následujících tabulkách. [3]

Tabulka 1 - Empirické vlastnosti asfaltových směsí [3]

Empirické vlastnosti	
Volumetrické	Mechanicko - fyzikální
Zrnitost	Pevnost v příčném tahu
Obsah asfaltového pojiva	Marshallova zkouška
Maximální objemová hmotnost	Nasákavost
Mezerovitost	Úbytek hmoty
Mezerovitost směsi kameniva	Číslo tvrdosti
Stupeň vyplnění mezer	

Tabulka 2 - Funkční vlastnosti asfaltových směsí [3]

Funkční vlastnosti
Tuhost
Únava
Odolnost proti účinkům vody
Odolnost proti trvalým deformacím
Zhutnitelnost
Přilnavost asfaltu ke kamenivu
Segregace asfaltové směsi
Otěr pneumatikami s hroty
Propustnost
Cyklická zkouška v tahu
Drenážní schopnost
Odolnost vůči pohonným hmotám

Jak již vyplývá z názvu empirických zkoušek vlastností, jedná se o vlastnosti nezávislé na okolním prostředí a podmínkách. Naopak u funkčních zkoušek vlastností asfaltových směsí závisí na okolním prostředí a podmínkách dopravního zatížení. Ve funkčních zkouškách je snaha zachytit a simulovat vlivy okolního prostředí a zohlednit je v průběhu zkoušky.

## 1.2 Funkční zkoušky asfaltových směsí

Autor v odborném článku pro časopis Stavebnictví se vyjadřuje k funkčním zkouškám asfaltových směsí takto: „S přechodem na evropské normy se v oblasti zkoušení asfaltových směsí otevírá možnost stanovovat a posuzovat vlastnosti těchto materiálů s využitím tzv. funkčních zkoušek. Jde o laboratorní zkoušky, při nichž je materiál podrobován zkoušení v podmínkách simulujících skutečné namáhání asfaltových směsí v konstrukci vozovky. Tyto metody se objevují v normách řady ČSN EN 12697 – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka.“ [4]

Dále říká, že „cílem zavedení funkčních zkoušek pro asfaltové směsi je přiblížit zkoušení ke skutečnému namáhání ve vozovce a vytvořit alternativní přístup pro navrhování asfaltových směsí k dosud používanému postupu empirickému.“ [4]

Při empirickém návrhu asfaltové směsi se postupuje takto:[5]

- Sestaví se návrh čáry zrnitosti kameniva tak, aby ležela v předepsaných mezích, které jsou dány normou.
- Stanoví se teoretické množství pojiva podle součinitele sytosti, podle konstant, nebo empiricky podle zkušeností.
- Stanoví se návrhové množství pojiva a odvodí se optimum. Stanovení probíhá namícháním 3 sad, ve kterých se postupně dávkuje různé množství pojiva.

Nyní se z každé sady vytvoří minimálně 3 Marshallovy tělesa, na kterých se zkouší mechanické vlastnosti jako je objemová hmotnost nebo maximální objemová hmotnost asfaltové směsi. Dále se zkouší mezerovitost směsi kameniva, mezerovitost asfaltové směsi a stupeň vyplnění mezer asfaltem. Z posledních dvou se poté stanoví výsledné optimum množství pojiva. [5]

Jak je vidět z návrhu asfaltové směsi, jedná se o princip založený na stanovení fyzikálně mechanických veličin, ke kterému se používají Marshallova tělesa. Tato tělesa a jejich vlastnosti odvodil Marshall koncem 30. let 20. století. Metoda prošla několika úpravami, ale její podstata sahá téměř 80 let do minulosti. [4]

Dnešní trend směřuje spíše k tomu, že by se měla směs navrhovat tak, aby její návrh odpovídal způsobu zatěžování této asfaltové směsi ve vozovce. Veličiny jako je stabilita, přetvoření nebo tuhost lze získat pouze zjednodušeným přepočtem a nelze s přesností použít na výpočet odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím. [4]

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, s narůstajícími intenzitami a rozvojem těžké nákladní dopravy, dochází k daleko většímu zatěžování vozovek než dříve. Právě díky tomu, se v posledních letech začínají stále více prosazovat funkční zkoušky, které se snaží simulovat skutečné působení vnějších vlivů na vozovku. [4]

Tomuto přístupu pomohl americký výzkum SHR – Strategic highway research projekt, který byl zaměřen na větší propojení laboratorních zkoušek se skutečným namáháním vozovek. Výsledkem výzkumu bylo zvolení takových materiálů použitých do asfaltové směsi, které by vedly ke zvýšení kvality a omezila by se tak nutnost vysokých investic do častých oprav. Byly doplněny, zdokonaleny, nebo odvozeny zcela nové funkční zkoušky pro celé asfaltové směsi, nebo třeba jenom pro asfaltová pojiva. [4]

Funkční zkoušky používané při návrhu asfaltové směsi se mohou využít při navrhování směsi typu asfaltový beton, tj. směsí s plynulou čarou zrnitosti. Směsi typu makadam, čili s přerušenou čarou zrnitosti, mezi které patří asfaltový koberec mastixový nebo asfaltový koberec drenážní, lze zařadit do skupiny empirických směsí. Je to způsobeno především proto, že asfaltové směsi s přerušenou čarou zrnitosti neposkytují tak velkou variabilitu návrhu směsi. Jejich obory zrnitosti jsou poměrně úzké. Navíc používají v převážné míře modifikovaný asfalt, jehož recepturu nelze výrazně měnit. Proto funkční návrh směsi získává uplatnění u směsí asfaltového betonu, který nám dovoluje měnit složení jak kameniva, tak asfaltového pojiva. [4]

Pro shrnutí: Funkční zkoušky asfaltových směsí simulují: [4]

1. proces výroby, dopravy, pokládky a hutnění asfaltové směsi
2. chování asfaltové směsi při různém zatížení a klimatických podmínkách

Pro stanovení segregace asfaltové směsi se simuluje právě první skupina jevů, a to proces výroby, dopravy, pokládky a hutnění směsi.

### 1.3 Druhy asfaltových směsí

Asfaltové směsi jsou směsi kameniva, asfaltového pojiva a případně jiných látek. Jako kamenivo se používá kamenivo maximální frakce 22 mm. Jako asfaltové pojivo může být použit asfalt, a to modifikovaný nebo nemodifikovaný, asfaltová emulze, nebo výjimečně ředěný asfalt. [6]

Asfaltové směsi můžeme rozdělit na hutněné asfaltové směsi a nehutněné asfaltové směsi. A jak již bylo nastíněno výše, hutněné směsi dále dělíme na směsi s plynulou čarou zrnitosti a s přerušenou čarou zrnitosti.

#### 1.3.1 Hutněné asfaltové směsi s plynulou čarou zrnitosti

Do této skupiny patří především asfaltové betony AC – Asphalt Concrete. Jedná se o směsi ACO – asfaltový beton pro obrusné vrstvy, ACL – asfaltový beton pro ložní vrstvy a ACP – asfaltový beton pro podkladní vrstvy. Tyto směsi u nás tvoří nejpoužívanější asfaltovou směs vůbec. Obrusná vrstva se kromě velmi zatížených vozovek používá téměř všude. Ložní a podkladní vrstva je u netuhých vozovek z asfaltového betonu vždy.

Označení asfaltového betonu, např.:

ACO 11+ : Jedná se o asfaltový beton pro obrusné vrstvy s maximálním zrnem kameniva 11 mm. „+“ znamená nejvyšší kvalitu asfaltové směsi.

ACP 22S : Asfaltový beton pro podkladní vrstvy s maximálním zrnem kameniva 22 mm. „S“ znamená odolnost proto trvalým deformacím.

Na kostře zhutnění směsi se podílí všechny frakce kameniva vzájemným dotykem zrn. Jak již název napovídá, jedná se o asfaltové směsi, u kterých je křivka zrnitosti plynulá a co nejvíce se podobá tzv. Fullerově parabole o obecné rovnici: [5]

$$Y = \left(\frac{d}{D}\right)^n \cdot 100 \quad (1)$$

Kde Y – procentuální propad kameniva na daném síti v %

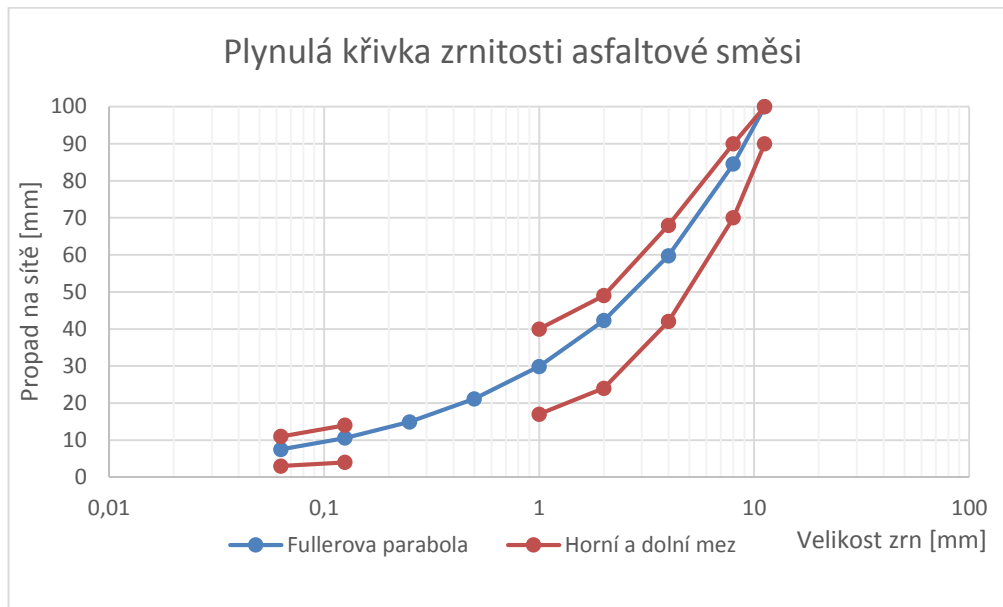
d – velikost oka síti v mm, kde propad počítám

D – velikost největšího zrna směsi v mm

n – exponent, uvažujeme hodnotu 0,5



Norma ČSN EN 13108 – 1 - Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály – Část 1 : Asfaltový beton ve své národní příloze stanovuje horní a dolní mez propadu jednotlivých frakcí kameniva. Např. pro směs ACO 11+ by vypadalo požadované rozmezí frakcí takto: [7]



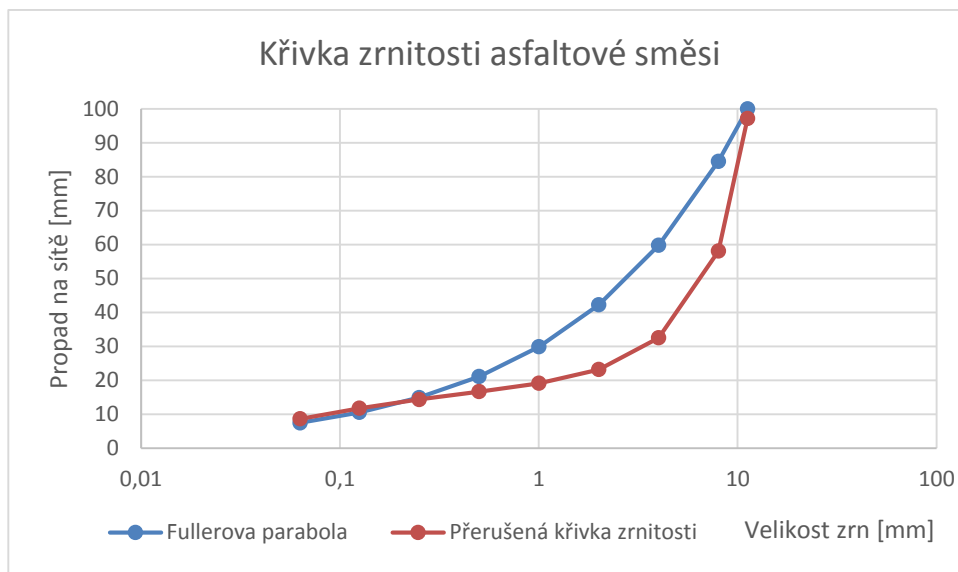
Obr. 1.1 – Plynulá křivka zrnitosti asfaltové směsi ACO 11+

### 1.3.2 Hutněné asfaltové směsi s přerušenou čarou zrnitosti

Těmto směsím se také říká asfaltové směsi typu makadam či skeletové. Oproti asfaltovým betonům jsou typické přerušenou čarou zrnitosti (Obr. 1.2), což se provádí potlačením určitých frakcí kameniva. Kostru směsi tvoří většinou dvě nejvyšší frakce kameniva, menší frakce ji vyplňují. [6]

Do této skupiny patří asfaltový koberec mastixový SMA (stone mastix asphalt), který se používá převážně na silně zatížené vozovky, jako jsou dálnice a letištní plochy. Jako pojivo se používají převážně modifikované asfalty a kvůli omezení možné stékavosti pojiva se používají např. vlákna TECHNOCEL nebo TOPCEL. [6]

Druhou nejpoužívanější variantou směsi typu koberec je asfaltový koberec drenážní PA (porous asphalt), který se vyznačuje velkou mezerovitostí směsi, která je vyšší než 17%. Mezerami dobře odtéká voda a přispívá tak k lepšímu odvodnění a snížení dopravního hluku. [6]



Obr. 1.2 - Přerušená křivka zrnitosti směsi SMA 11S

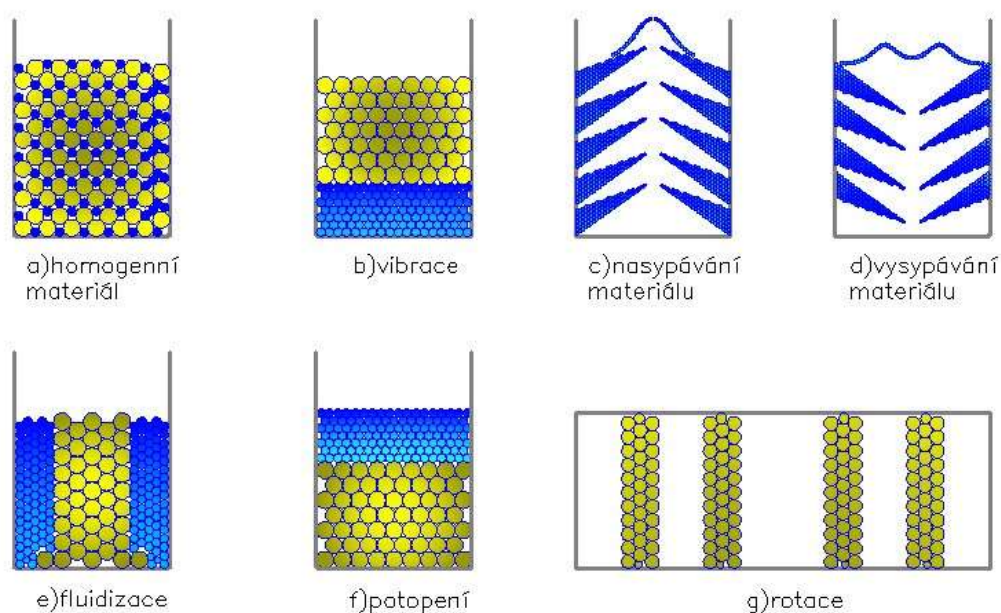
### 1.3.3 Nehutněné asfaltové směsi

Mezi nehutněné asfaltové směsi patří především litý asfalt (MA). Asfaltové pojivo je zastoupeno ve větší míře než u předešlých směsí a kamenivo už neplní funkci kostry směsi, ale má pouze funkci výplňovou. Můžeme říci, že kamenivo „plave“ v asfaltu. Vzhledem k tekuté povaze směsi se u této směsi segregace nestanovuje. [6]

## 2 Segregace

Bez dopravy materiálů z různých skladišť, zásobníků nebo zemníků by průmyslový, ani žádný jiný rozvoj nemohl existovat. V praxi dochází zpravidla vždy k manipulaci a přemisťování různých surovin. Ve stavitelství se jedná především o sypké hmoty. Během výroby sypkých, ale samozřejmě i jiných materiálů dochází k velké řadě dílčích přesunů hmot, které se účastní výrobního procesu. Tyto přesuny ovlivňují kvalitu výsledného produktu, protože s každým přesunem se mění homogenita uskladněných materiálů. U dopravy a u přesunů dochází k segregaci, k jevu, který negativně ovlivňuje homogenitu směsi. Segregace je proces, kdy se větší zrna, která jsou původně rovnoměrně rozmístěna mezi menšími, shlukují a oddělují právě od menších zrn. To znamená, že způsobuje problémy ve výsledné jakosti produktu. Jiná definice tvrdí, že segregace je opak míchání, nebo homogenizace. [8]

Je samozřejmé, že segregaci nelze očekávat u soudržných materiálů, protože zrna jsou pevně spojena a nedochází tedy k pohybu částic, který je k segregaci nutný. Segregace je tím větší, čím jsou menší síly, které působí navzájem na sousední zrna. Takové směsi se říká směs s volným tokem. Zrna nejsou spojena a vzhledem k sousedním zrnům se pohybují bez problému. Různé druhy segregace jsou uvedeny na obr. 2.1. [8]



Obr. 2.1 - Různé druhy segregace, převzato z [8]

## 2.1 Segregace sypkých materiálů

Sypké materiály jsou soubor částic, které se od sebe navzájem liší v několika vlastnostech. Jsou to především: [9]

- Rozdíly ve velikosti částic



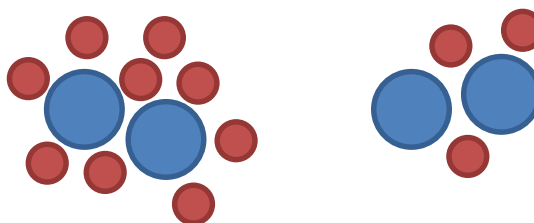
- Rozdíly ve tvaru částic



- Rozdíly v hustotě



- Různý poměr složek



Při vzájemném pohybu částic, tedy při manipulaci se sypkým materiálem dochází ke změnám v uspořádání částic, což má za následek změnu vlastností tohoto materiálu. Zpravidla se jedná o změny, které zhoršují vlastnosti a je účelné se těmto změnám vyhnout. [8]

Existuje více druhů a příčin segregace. Nejvýznamnější příčina segregace u asfaltových směsí souvisí s jejich dopravou. Při dopravě vznikají vibrace, které napomáhají oddělování částic a ve výsledku se větší částice usadí u dna a menší částice „vyplavou“ na povrch. Další možnosti výskytu segregace je při nasypávání směsi do nádoby, nebo u problematiky dopravních staveb při nakládce popřípadě vykládce směsí nakladačem na korbu nákladního vozidla. Příklady segregace vrstvy z kameniva je na obr. 2.2, příklad segregace asfaltové směsi na obr. 2.3.



Obr. 2.2 - Segregace kameniva, převzato z [10]



Obr. 2.3 - Segregace asfaltové směsi

## **2.2 Význam segregace v technické praxi**

Segregace se běžně vyskytuje při manipulaci s jakýmkoliv sypkým materiálem. Ne každé materiály ale podléhají segregaci stejně. Různé materiály na ni mohou být více, či méně citlivé, některé ji mohou více, či méně tolerovat. Pro výslednou kvalitu směsi není důležité místo, kde k segregaci dochází, ale kde a v jaké míře se projeví. Naopak při zkoumání příčiny a snaze o její eliminaci je důležité místo, kde vzniká a jak se vyvíjí.

Nalezení podstaty segregace přitom závisí na mnoha faktorech. Jednou z prvních otázek, která je kladena, je proč vlastně sypké materiály segregují. [8]

### **2.2.1 Náchylnost sypkého materiálu k segregaci**

Hlavní faktor ovlivňující velikost segregace je velikost zrn a jejich vlastnosti. Tvar zrna a drsnost povrchu má zase vliv na tokové jevy. Podle toho se odvíjí vůle materiálu k odvalování nebo smyku. Z podstaty věci se dá očekávat, že zakulacená zrna se budou pohybovat lépe a snadněji než drcené, ostré nebo např. hranaté kamenivo. [8]

Zajímavou závislost zkoumal Jan Tomáš ve své diplomové práci z roku 2011. Zkoumal závislost tvarového indexu kameniva na hodnotě segregace na stejném přístroji, jako zkoumám já segregaci asfaltových směsí. Závěrem byla potvrzena domněnka o jisté závislosti, a to čím je větší tvarový index, což znamená čím je větší podíl nekubických zrn, tím je segregace větší. Jinými slovy čím jsou zrna více protáhlá, tím se hůře odvalují a lépe se do sebe zaklíňují. [11]

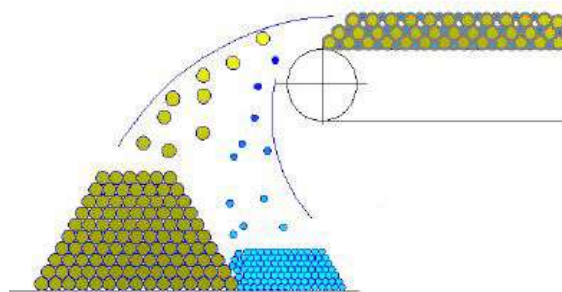
Tvrdý, suchý a nesoudržný povrch bude vykazovat větší míru segregace než měkký lepkavý. Je to opět dáno velikostí soudržných sil. Zrna se suchým povrchem se budou po sobě lépe odvalovat a segregace bude větší. [8]

Segregace je vyvolána jakýmkoliv pohybem sypké hmoty. Proto při každé manipulační nebo výrobní operaci vznikají podmínky, při kterých může segregace probíhat. Segregace vzniká tam, kde síly působí na různé frakce sypké hmoty a projeví se ve formě pohybu sypké hmoty. Efektivitu segregace také ovlivňuje čas a relativní velikost oblasti pohybu. Například segregaci může ovlivňovat plnicí rychlost do zásobníku a také tok materiálu do zásobníku. [8]

## 2.3 Způsoby segregace

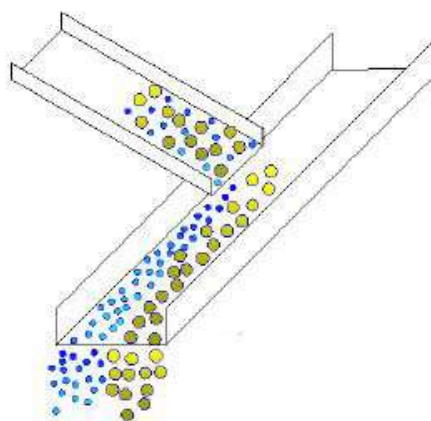
### 2.3.1 Volný pád

Materiál padající volně vzduchem je vystaven gravitaci a odporu vzduchu. Typickým příkladem je padání materiálu z pásového dopravníku (Obr. 2.4). Jemná frakce padá hned pod konec dopravníku a větší zrna s větší kinetickou energií se oddělí a dopadnou dále. [8]



Obr. 2.4 - Volný pád, převzato z [8]

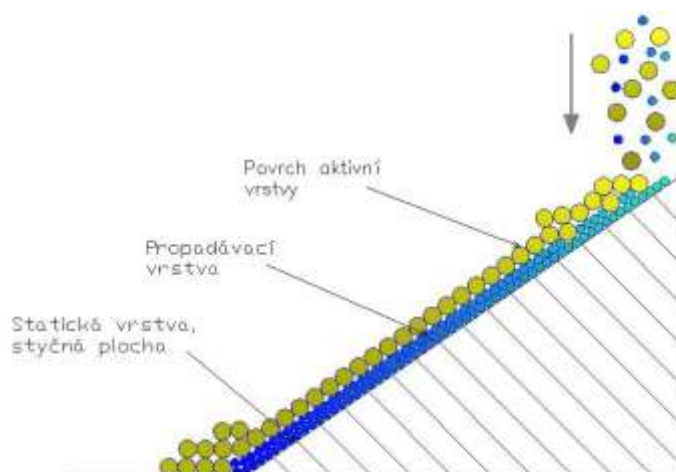
Obdobou segregace způsobené volným pádem je segregace dopravních skluzů. Tady se navíc segregovaný materiál dále pohybuje po pásovém dopravníku a segregace narůstá tím víc, kolik je na trase takových skluzů (Obr. 2.5). [8]



Obr. 2.5 - Dopravní skluz, převzato z [8]

### 2.3.2 Klidný proud toku

Klidný proud toku patří mezi základní chování při manipulaci se sypkou hmotou. Na obr. 2.6 lze vidět, že rozlišujeme tři různé vrstvy. Aktivní vrstvu na povrchu, pod ní propadávací vrstvu a u paty svahu statickou vrstvu. Aktivní vrstva na povrchu se vůči ostatním pohybuje na svahu rychleji, protože má větší volnost pohybu oproti nižší vrstvě. Ta se díky většímu kontaktu s okolními zrny pohybuje pomaleji. U paty svahu dochází k tomu, že aktivní vrstvy se mění ve statické a zrna se zachytávají, což přispívá rychlejší vyšší aktivní vrstvě k ještě větší uražené dráze ze svahu. [8]



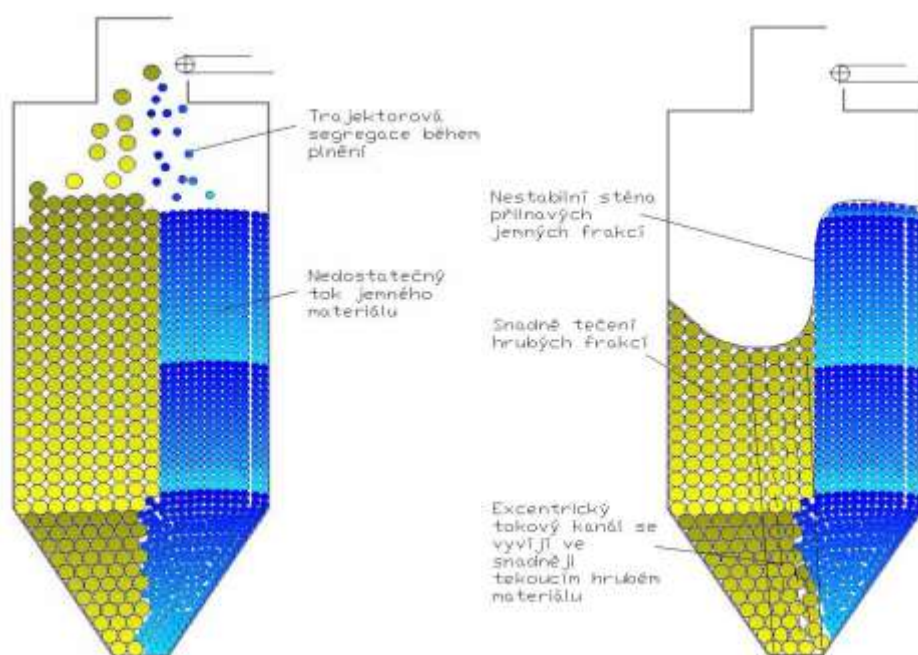
Obr. 2.6 - Segregace klidného toku, převzato z [8]

Příkladem tohoto druhu segregace je nakládání a vykládání nákladních automobilů. Při nakládce nakladači se lžíce natočí tak, aby materiál padal na korbu automobilu, a při klouzání po natočené lžíci dochází právě k tomuto jevu. Při vykládce se zase vyklopí korba, materiál klouže po nakloněné rovině a tím dochází k segregaci.

### 2.3.3 Segregace v zásobnících

Zásobníky, ve kterých se uskládá sypký materiál, plní zejména na obalových asfaltových směsí významnou funkci. Existuje jich celá řada a existuje také mnoho způsobů, jak se naplňují. Nejčastěji se jedná o plnění z mechanických dopravníků, nebo elevátorů, což vede k tomu, že také při plnění zásobníků se setkáváme se segregací způsobenou volným pádem. Z dopravníku, kterým se dopravuje sypký materiál do zásobníku, padá materiál stejným způsobem, jaký byl popsán výše. To znamená, že při pádu se odděluje jemná a hrubá frakce. Problém nastává při vyprazdňování, kdy bude nejdříve vypadávat volněji tekoucí hrubá frakce. To má za následek, že hrubá frakce při vyprazdňování úplně, nebo z velké části zaplní vypouštěcí otvor a jemná část nebude skoro vůbec vypadávat. Snadné tečení hrubé frakce způsobí, že nahoře se bude hromadit jemná frakce a vytvoří se jakási nestabilní stěna z jemných frakcí. Výsledkem tedy je, že první se vypustí hrubá frakce a až po ní jemná. Materiál jdoucí ze sila nebude promíchaný, jako v pásovém dopravníku, který materiál do sila dopravoval (Obr. 2.7). [8]



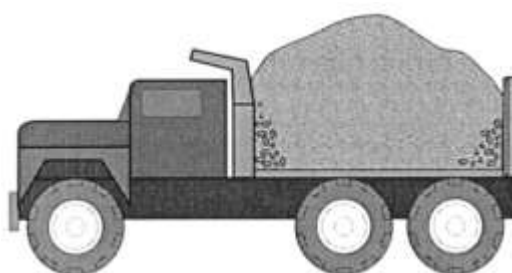


Obr. 2.7 - Plnění a vyprazdňování zásobníku, převzato z [8]

Segregace volným pádem a segregace v zásobnících má velký vliv na kvalitu asfaltové směsi, protože u nás rozšířené šaržové obalovny obsahují spoustu zásobníků i pásových dopravníků. Je třeba tomuto jevu věnovat pozornost.

### 3 Eliminace segregace plněním nákladních vozidel

Jednou z metod, jak předejít segregaci při dopravě směsi, je způsob jakým jsou plněny nákladní automobily. Předpokládejme takové plnění nákladního automobilu, kdy ho řidič zastaví v takové pozici, kdy je střed korby vozidla pod násypkou směsi. Plnění vozidla probíhá bez jeho dalšího pohybu, pouze na střed korby. Pokud je převážena směs náchylná k segregaci, hrubší kamenivo se sesype k přední části korby, k jejím bočnicím a samozřejmě i k zadní části, což má za následek skutečnost, že právě toto hrubé kamenivo bude první a poslední materiál, který se při vykládce vysype (Obr. 3.1). [12]



Obr. 3.1 - Nakládka vozidla bez posunování, převzato z [12]

Další možností je nakládka vozidla ve třech různých dávkách. Jako první je započato s plněním korby v její přední části. Po vysypání se materiál již nemůže posunovat dopředu, ale stále je možnost segregace směrem k zadní části vozidla (Obr. 3.2). [13]



Obr. 3.2 - Plnění přední části korby vozidla, převzato z [13]

Řidič, po vysypání první dávky, s vozidlem popojede tak, aby byla druhá dávka vysypána blízko zadní části korby. Asfaltová směs je nyní ohraničena již vysypanou první dávkou a zadní stranou korby nákladního vozidla (Obr. 3.3). [13]



Obr. 3.3 - Plnění zádí části korby vozidla, převzato z [13]

Jako poslední v tomto nakládacím procesu musím řidič popojet tak, aby mohla být poslední třetí dávka vysypána doprostřed korby vozidla, kde bude ohraničena první a druhou již vysypanou dávkou směsi (Obr. 3.4). [13]



Obr. 3.4 - Plnění střední části korby vozidla, převzato z [13]

V předcházejícím textu je vidět rozdíl mezi jednoduchým nakládáním vozidel a nakládáním složeným z celkem tří dávek. U vícedávkového nakládání je riziko segregace omezeno na třetinu, protože jednotlivé dávky se ohraničí o kraje korby, nebo se zaklíní do sebe. I zde platí, že hrubozrnné částice, které jsou u zadní strany korby, se vysypou jako první, ovšem oproti jednoduchému nakládání je jich podstatně méně.

## 4 Vozidla pro úpravu směsi před pokládkou

První finišer byl vynalezen v roce 1935. Díky tomu bylo stavění cest navždy změněno k lepšímu. Tato technologie pokládání silničních vrstev se výrazně nezměnila až do roku 1989, kdy firma Roadtec představila první MTV (material transfer vehicle) vozidlo Shuttle Buggy. Tento stroj výrazně zlepšil kvalitu pokládaných vrstev a stal se základním strojem pro mnohé stavení firmy. [14]

### 4.1 Vozidlo Shuttle Buggy

Vozidlo Shuttle Buggy je navrženo tak, aby tvořilo jakýsi spojovací článek mezi horkou asfaltovou směsí na nákladním automobilu a finišerem. Segregační problémy jsou eliminovány díky schopnosti stroje znovu rozmixovat směs. Vozidlo Shuttle Buggy také umožňuje non-stop pokládku asfaltových směsí, což



Obr. 4.1 – Vozidlo Shuttle Buggy, převzato z [14]

vede k mnohem hladšímu průběhu pokládky směsi. Stroj má kapacitu 25 tun, což umožňuje, aby dodavatel snížil náklady na dopravu nákladními vozidly. Vykładací kapacita nákladního automobilu je dimenzována na 1000 tun za hodinu a nakládací kapacita finišeru je dimenzována na 600 tun za hodinu. [14]

### 4.2 Vozidlo MTV-1000

Vozidlo MTV-1000 je kompaktní stroj, který přenáší směs z nákladního automobilu do finišeru, za znovupromíchávání materiálu. Stejně jako Shuttle Buggy, i vozidlo MTV-1000 je schopno pomoci stavebním firmám vyřešit problémy s materiálovou a tepelnou segregací. Znovu promíchání



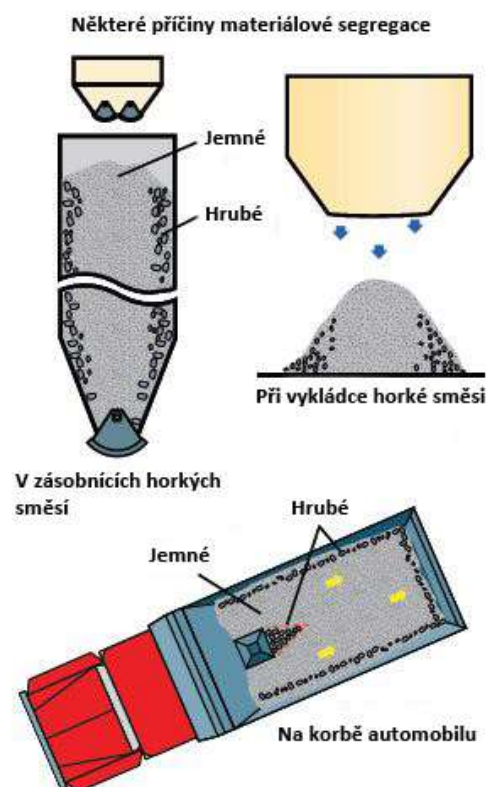
Obr. 4.2 – Vozidlo MTV-1000, převzato z [14]

směsi má význam při vykládce materiálu z nákladního automobilu na korbu finišeru. Stroj umožňuje plynulou pokládku, bez nutnosti zastavovat finišer kvůli plnění směsí. Nakládací kapacita finišeru je dimenzována na 600 tun za hodinu. [14]

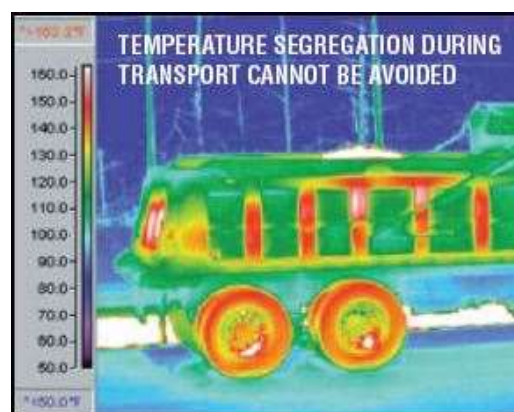
### 4.3 Příčiny vzniku prvního MTV

Když začaly být v roce 1980 problémy položených asfaltových vrstev více sledovány, bylo zjištěno, že jedna z nejdůležitějších příčin reklamací hotových vrstev byla materiálová segregace. Tento fakt inspiroval odborníky k tomu, aby našli řešení, jak se s tímto jevem vypořádat. Navrhli stroj, který dokáže promíchat horkou asfaltovou směs těsně před tím, než ji finišer položí. Výsledkem bylo první vozidlo Shuttle Buggy. Díky tomu se jde prakticky lépe vyrovnat s tak nežádoucím jevem, jakým je segregace. [14]

Po zhodnocení infračervenou kamerou horkou asfaltovou směs, je možné vidět až překvapivě velké rozdíly v teplotě v podobě různě barevných polí charakterizujících určité teploty. Na některých místech automobilu se mohou teploty snížit až pod 100°C a to se nejednalo o přepravu na velkou vzdálenost. Právě díky vozidlu Shuttle Buggy a jeho technologií „přemíchání“ směsi dochází k potlačení těchto teplotních rozdílů a ve finále i segregace. [14]



Obr. 4.3 - Příčiny segregace, převzato z [14]



Obr. 4.4 - Teplotní rozdíly směsi, převzato z [14]



#### 4.4 Proč se řeší problém segregace

Povrchy, které trpí zrnitostní, nebo teplotní segregací budou mít oblasti, kde má směs špatnou strukturu, texturu, nebo má dokonce špatné obě vlastnosti. Materiál nebude mít jednotnou objemovou hmotnost a dojde k předčasnému porušení až degradaci. Hutněním se materiálová, ani teplotní segregace nezlepší. Na následujících obrázcích je vidět rozdíl mezi použitím a nepoužitím promísení směsi před vstupem do finišeru. Na obr. 4.5 jsou vidět značné teplotní rozdíly. To má za následek viditelné zhoršení kvality povrchu. Na obr. 4.6 již došlo k promísení směsi před pokládkou a nejsou patrné velké teplotní rozdíly. To vede ke kvalitnímu povrchu, bez segregací. [14]



Obr. 4.5 - Směs bez promísení, převzato z [14]



Obr. 4.6 - Směs s promísením, převzato z [14]

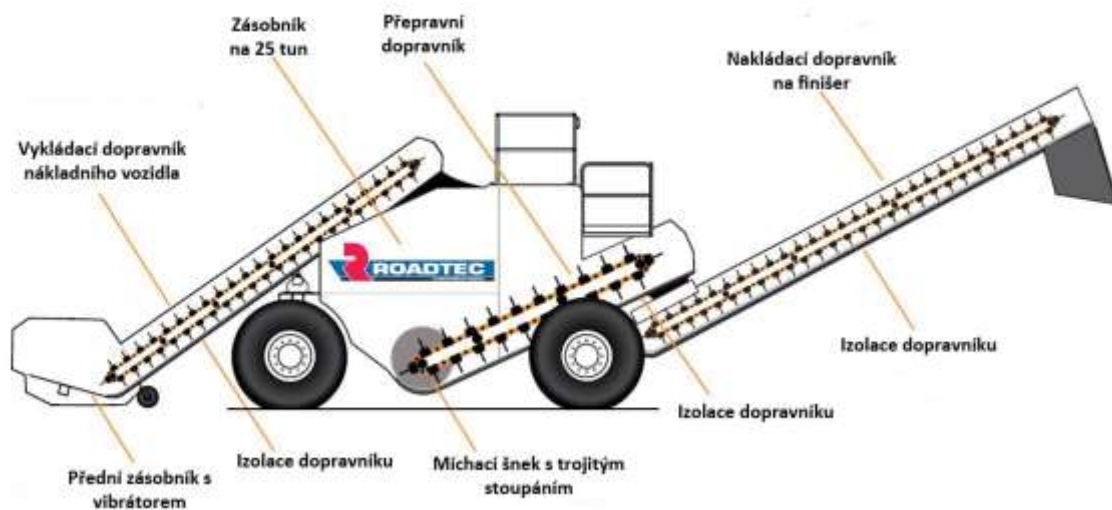
Dokonce i taková směs jako je na obr. 4.7 může vytvořit kvalitní povrch, pokud se bude pokládat přes jeden z přístrojů MTV. [14]



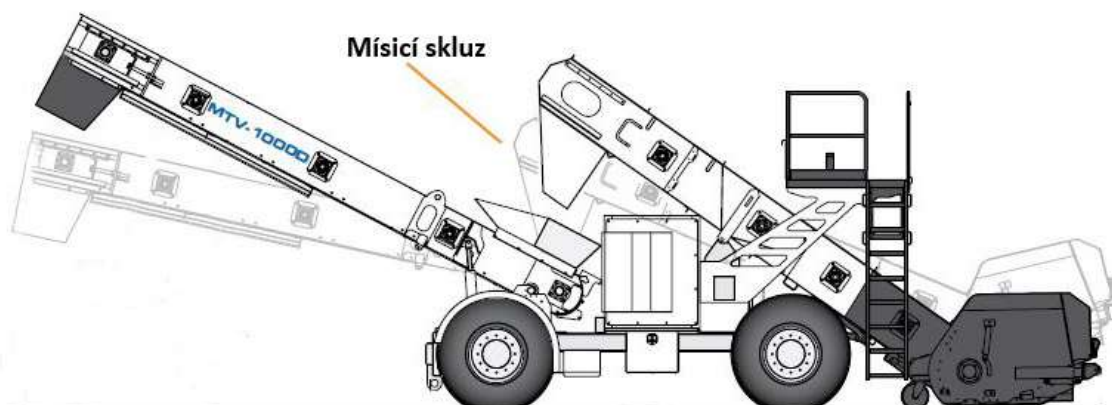
Obr. 4.7 - Špatná směs, převzato z [14]

## 4.5 Různé varianty strojů

Firma Roadtec nabízí 2 druhy míchacích strojů. Jedná se o vozidlo Shuttle Buggy (Obr. 4.8) a vozidlo MTV – 1000 (Obr. 4.9). [14]



Obr. 4.8 - Shuttle Buggy, převzato z [14]



Obr. 4.9 - MTV – 1000, převzato z [14]

#### 4.5.1 Shuttle Buggy

Oproti MTV-1000 nabízí Shuttle Buggy zásobu na 25 tun směsi. Jde o vyrovnávací zásobník na směs, mezi dobou naplnění zásobníku nákladním automobilem. Díky této násypce lze ušetřit na čekacích dobách nákladních automobilů a celkově je potřeba méně vozidel přepravujících asfaltovou směs. Další rozdíl je v míchání směsi. Shuttle Buggy používá míchací šnek s trojitým stoupáním (Obr. 4.10). Jednoduchý šnek (Obr. 4.11) není vhodný, protože si natahuje materiál ze stran zásobníku, přičemž mezery mezi šroubením se zaplní a šnek se pouze „protunelovává“. Obsah zásobníku se nepromíchá, takže segregace stále představuje problém. Jednoduché šneky jsou dobré pro dopravu asfaltové směsi z násypky finišeru na hladicí lištu, ale ne pro míchání horké směsi. [14]



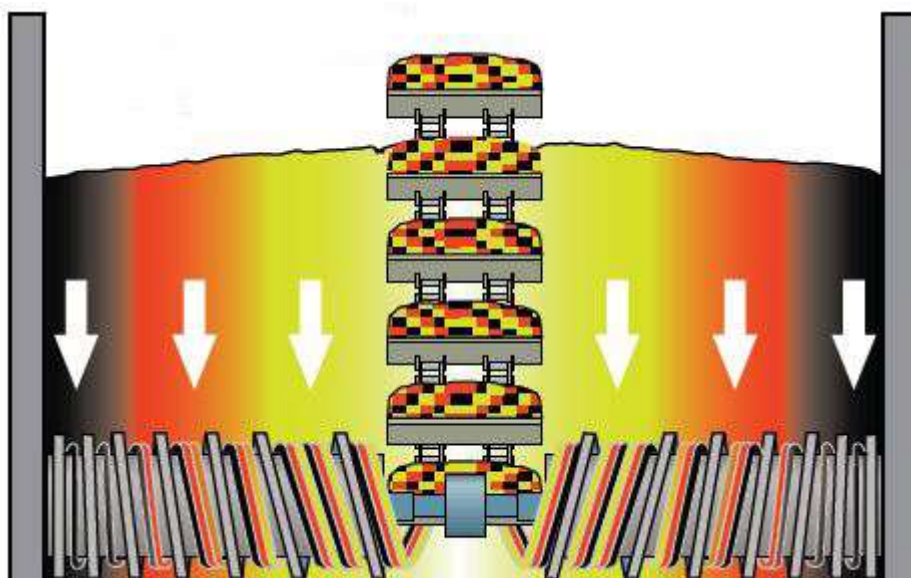
Obr. 4.10 - Šnek s trojitým stoupáním, převzato z [14]



Obr. 4.11 - Šnek s jednoduchým stoupáním, převzato z [14]

Remixovací šneci s rostoucí roztečí zajistí rovnoměrné proudění směsi v celém zásobníku. Čerpají materiál dolů rovnoměrně v celém zásobníku, a proto je veškerý materiál promíchán rovnoměrně. Princip míchání šnekem s trojitým stoupáním je uveden na obr. 4.12. Různé barvy představují různé teploty a je vidět, že po promíchání se dopravníkem podává směs složená ze všech teplot. To způsobí, že pokládaná směs má všude stejnou teplotu. [14]





Obr. 4.12 - Princip míchání u MTV, převzato z [14]

#### 4.5.2 MTV – 1000

Oproti vozidlu Shuttle Buggy by se mohlo zdát, že MTV – 1000 používá jednodušší míchací technologii. Místo šneku, který míchá směs, používá konstrukčně jednoduché zařízení. Na konci skluzu, kterým padá asfaltová směs do finišeru má odsazené padací otvory, které umožňují míchání směsi. Názorně je systém míchání znázorněn na obr. 4.13. [14]



Obr. 4.13 - Systém míchání MTV – 1000, převzato z [14]

## 4.6 Zhodnocení vozidel MTV

Vozidla MTV od firmy Roadtec jsou jistě velkým pomocníkem při pokládání vrstev pozemních komunikací. Podle firmy je tato technologie ekonomičtější, protože není potřeba tolik vozidel pro dopravu směsi. Na druhé straně je třeba se zamyslet a říct si, že potřebujeme docela velký a jistě velmi drahý stroj, díky kterému ušetříme na dopravě. Tato vozidla ale jistě nepořizujeme kvůli šetření, ale protože chceme eliminovat segregační problémy. Podle výsledků z infračervených kamer se to daří. Je vidět, že povrch položené vozovky je tepelně homogenní, což se bez použití vozidel MTV říct nedá.

Dále jejich využití a především pak zásobníku na 25 tun u Shuttle Buggy je vidět např. při stavbě křižovatek, kde je občas problém se vytočit s nákladními vozy. Rameno MTV vozidel lze flexibilně otáčet až o 55 stupňů a plnit finišer. [14]

Pokud se dostaneme do míst s horším přístupem a není možné použít finišer, a je tedy potřeba ručního zpracování, je opět výhodou, že ze zásobníku je vozidlo Shuttle Buggy schopné vysypat libovolné množství na ono nedostupné místo a pak je ruční zpracování pohodlnější a rychlejší. [14]

## 5 Zkoušení

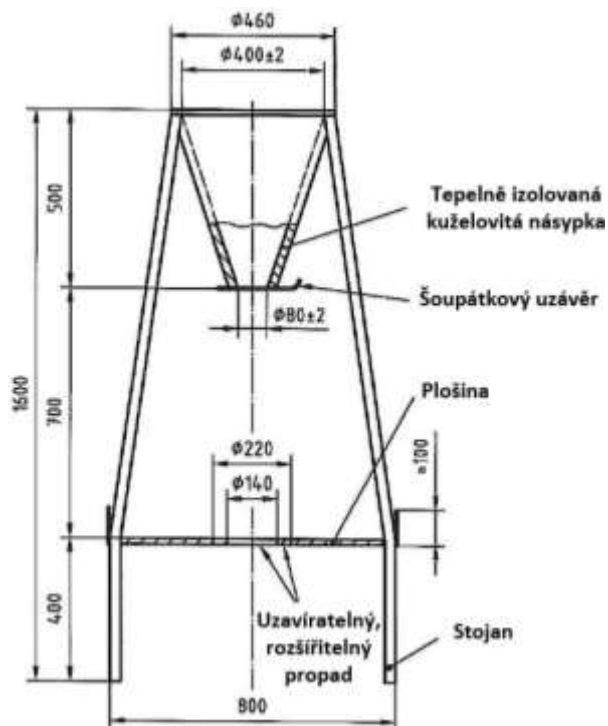
### 5.1 Význam a použití zkoušky

Norma ČSN EN 12697-15 se k významu zkoušky staví takto: „Úroveň kvality asfaltové vozovky je mimo jiné určena homogenitou složení použitých asfaltových směsí. Homogenita asfaltové směsi ve vozovce je ovlivňována kvalitou mísení při výrobě a citlivostí směsi k segregaci při manipulaci. Citlivost směsi k segregaci je ovlivňována složením směsi podle druhu a množství kameniva a pojiva. Určitá segregace je vlastní povaze asfaltových materiálů. Nadměrná segregace je způsobena např. neodpovídajícím mícháním, nesprávným naplněním násypky, úložného prostoru vozidla nebo koše finišeru.“ [15]

Zkušební metoda dle této normy poskytuje užitečné informace o kvalitě homogenity zkoušené asfaltové směsi. Výsledky zkoušky nám umožňují nalézt zpětnou vazbu jak je daná směs náchylná na segregaci. Podle hodnoty segregace se pak můžeme rozhodnout, jak velké opatření přijmeme na její eliminaci. [15]

### 5.2 Zkušební zařízení a pomůcky

- Přístroj na stanovení segregace (Obr. 5.1)
- Tři nádoby o průměru >220 mm
- Váha s přesností 0,1g
- Zahřívací zařízení (pec)
- Stopky
- Teploměr k měření asfaltových směsí
- Přístroj pro granulometrickou zkoušku
- Zařízení pro extrakci asfaltu
- Ostatní běžné zařízení silniční laboratoře



Obr. 5.1 - Segregátor, převzato z [15]

## 5.3 Průběh zkoušky

Tato zkouška je vhodná pro směsi citlivé k segregaci. Obecně se jedná o směsi  $D \geq 16$  mm, které propadnou z kuželové násypky za dobu kratší než 15 s. [15]

### 5.3.1 Sběr a příprava vzorků

Dle normy ČSN EN 12697-15 by hmotnost zkušební vzorku měla být  $(10 \pm 1)$  kg. V rámci recyklace použitých vzorků v silniční laboratoři FAST a firmě Consultest, s.r.o. se hmotnosti vzorků pohybovaly okolo 7 kg. Hmotnost každého vzorku je uvedena v protokolu o naměřených výsledcích. Převážně byly použity vzorky ze zkušebních desek, které byly dříve testovány na odolnost proti trvalým deformacím - pojíždění kolem.

### 5.3.2 Postup zkoušky

Připravené vzorky se oba uloží na plech a dají se do rozehřáté sušárny na  $100^\circ\text{C}$ , což je navržená první zkušební teplota, při které se bude zkoušet hodnota segregace směsi. Současně se vloží do sušárny také násypka (horní část) segregátoru, aby se nahřála na stejnou zkušební teplotu. Násypka je nerezová dvouplášťová kuželová nádoba s izolantem mezi pláštěmi. To zaručí, že se násypka rychle neochladí po vytažení ze sušárny, ale pro účely zkoušky zůstane dostatečně nahřátá. Proveďte se následující posloupnost úkolů:

- Sestaví se segregátor a zahřátý zkušební vzorek se umístí do násypky (Obr. 5.2). Násypka musí být čistá a bez znečištění jinou směsí nebo údržbovým mazivem.



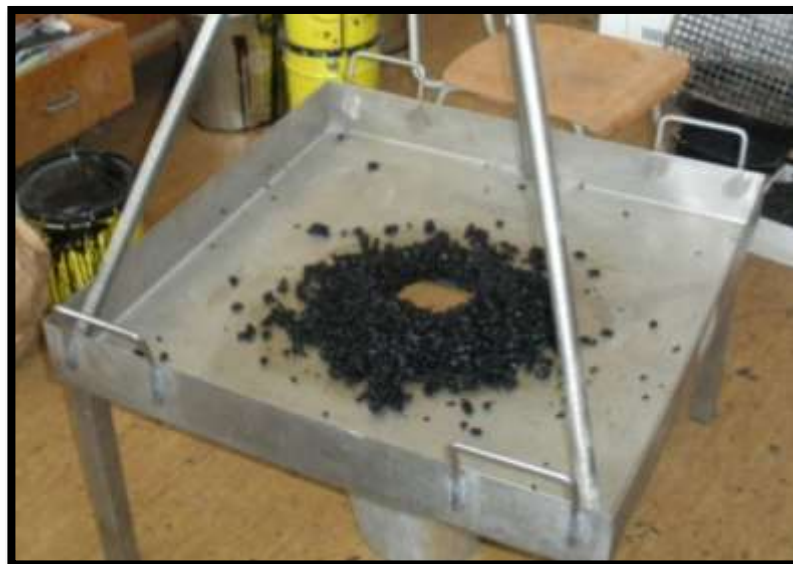
Obr. 5.2 - Sestavený segregátor

- Spodní šoupátkový uzávěr se rychle otevře. Zkušební vzorek padá z výšky přibližně 700 mm na plošinu (Obr. 5.3).



Obr. 5.3 - Zkušební vzorek padá na plošinu

- Měří se čas pádu vzorku, pokud je větší než 15 s, musí se zkouška opakovat
- První nádoba se umístí pod otvory propadu. Otevře se mechanicky vnitřní otvor propadu ( $\varnothing 140$  mm). V první nádobě se shromáždí vnitřní jemná část zkušebního vzorku, která vypadla z kuželovité figury (Obr. 5.4).



Obr. 5.4 - Otevřený vnitřní otvor

- Pod otvory propadu se umístí druhá nádoba a mechanicky se otevře vnější otvor propadu ( $\varnothing 220$  mm). Ve druhé nádobě se shromáždí střední část zkušební vzorku, která vypadla z kuželovité figury (Obr. 5.5).



Obr. 5.5 - Střední část vzorku

- Pod otvory se umístí třetí nádoba, do které se umístí zbytek směsi, který zůstal na plošině, jako nejhrubší část zkušební vzorku (Obr. 5.6).



Obr. 5.6 - Zbytek směsi na plošině

Celkově je vzorek rozdělen na tři různě velké části. Zrnitost, tedy pokračování zkoušky, se stanoví pouze na jemných a hrubších částech vzorku. Střední část by se analyzovala, pokud by bylo nezbytné potvrdit, že stanovený obsah asfaltu ve směsi se v této části nachází v intervalu hodnot ostatních dvou částí.



Dle normy by měla zkouška dále pokračovat na celém množství, které vypadlo ze segregátoru. V rámci velké časové náročnosti takové zkoušky a omezené kapacity extraktoru byl z každé části vybrán reprezentativní vzorek. Po domluvě byl stanoven na 500 g. Získá se kvartováním:

- Směs se na plechu rozdělí přibližně na 4 stejně velké plochy (Obr. 5.7).



Obr. 5.7 - Rozdělení směsi na 4 stejně velké plochy

- Odstraní se 2 plochy, vždy ty, které leží na úhlopříčce (Obr. 5.8). Postup se opakuje do doby, kdy je hmotnost směsi rovna 500 g.



Obr. 5.8 - Odstranění ploch na úhlopříčce

- Vzorek o hmotnosti 500 g se umístí do plechovky, a zalije se asfaltovým rozpouštědlem, v silniční laboratoři používaným trichlorethylenem.

- Od kameniva se pomocí přístroje na extrakci asfaltu odseparuje asfaltové pojivo.



Obr. 5.9 - Přístroj na extrakci asfaltu

- Do přístroje se umístí patrona, která zachycuje vyplavované jemné kamenivo.



Obr. 5.10 - Patrona na zachycování jemného kameniva

- Zkoušený vzorek se vysype na síta a postupným zkrápěním a proplachováním trichlorethylenem se asfalt odděluje od kameniva a odkapává do spodní části stroje.





Obr. 5.11 - Násypka přístroje

- Proplachování vzorku se opakuje tak dlouho, dokud neodkapává čistý trichlorethylen. To je známka toho, že kamenivo je kompletně zbavené asfaltu.



Obr. 5.12 - Roztok s velkým množstvím asfaltu



Obr. 5.123 - Roztok s minimálním množstvím asfaltu

Po dokončení separace asfaltu se přístroj zastaví a odebere se patrona, ve které jsou zachyceny nejmenší částice, které propadly sítem 0,063 mm.

Jakmile je kamenivo odseparované od asfaltového pojiva, pokračuje zkouška stanovení segregace asfaltové směsi stanovením zrnitosti podle normy ČSN EN 933-1. [16]

- Zkušební navážka se vysuší při teplotě 110°C do ustálené hmotnosti

- Navážka se nasype na síta a provede se síťový rozbor



Obr. 5.13 - Příklad na provádění síťového rozboru

- Veškeré výsledky se zapíší do formuláře, který je uveden v příloze.

## 5.4 Vyhodnocení stanovení segregace asfaltové směsi

### 5.4.1 Hodnota segregace kameniva

Hodnota segregace kameniva se vypočte s přesností na jedno desetinné místo následujícím způsobem

$$SV_n = S_{f,n} - S_{c,n}$$

Kde  $SV_n$  je hodnota segregace kameniva pro síto  $n$ , v procentech hmotnosti

$S_{t,n}$  je zůstatek na síti  $n$  pro jemnou část, v procentech hmotnosti

$S_{c,n}$  je zůstatek na síti  $n$  pro hrubou část, v procentech hmotnosti

## 5.5 Vyhodnocení jednotlivých vzorků

Pro zápis naměřených hodnot v silniční laboratoři FAST jsem vytvořil formulář se všemi potřebnými údaji, který je uveden v příloze. Dále v práci uvádím u každého vzorku a u každé teploty již přepsané a dopočítané zbylé hodnoty.

### Hmotnost patrony:

Jedná se o patronu znázorněnou na obr. 5.10. Patrona se vloží do přístroje (Obr. 5.9) a zachytává se na ní jemné kamenivo, které propadne sítím 0,063 mm. Odečtením hmotnosti prázdné patrony od plné se získá hmotnost tohoto jemného kameniva -  $m_{\text{jemných částic}}$ .

### Hmotnost nádob:

Sestava nádob na extrakci asfaltu se skládá ze dvou sítí (Obr. 5.11), misky na zachytávání kameniva, které může propadnout sítí při manipulaci a patronou. Odečtením hmotnosti prázdných nádob od plných získáme hmotnost kameniva již bez asfaltu -  $m_{\text{kameniva}}$ .

### Množství asfaltu:

Při známé hmotnosti kameniva bez asfaltu ( $m_{\text{kameniva}}$ ) a celkové hmotnosti asfaltové směsi ( $m_{\text{celková}} = 500g$ ), můžeme spočítat procentuální podíl asfaltu ve směsi jako:

$$\text{Množství asfaltu} = \frac{m_{\text{celková}} - m_{\text{kameniva}}}{m_{\text{celková}}} \cdot 100\%$$

### Rozměry ok na sítích:

Standardizovaná sada sítí pro síťový rozbor dle ČSN EN 933-1.

### Hmotnost dílčího zbytku:

Navážená hmotnost kameniva na jednotlivých sítích.

Dílčí zbytek na síť:

Procentuální vyjádření hmotnosti kameniva na jednotlivých sítích.

$$\text{Dílčí zbytek na síť} = \frac{\text{hmotnost dílčího zbytku}}{\text{celková hmotnost kameniva}} \cdot 100\%$$

Celkový zbytek na síť:

Součet všech předešlých dílčích zbytků na sítích.

$$\text{Celkový zbytek na síť} = \sum \text{dílčí zbytek na síť}$$

Celkový propad sítem:

Udává, kolik procent z celkové hmotnosti kameniva propadlo daným sítem.

$$\text{Celkový propad sítem} = 100 - \text{celkový zbytek na síť}$$

Kontrola:

Dle ČSN EN 933-1 je zkouška neplatná, pokud neplatí rovnost:

$$\frac{M_2 - (\sum R_i + P)}{M_2} \cdot 100\% < 1\%$$

Kde  $M_2$  = Vysušená hmotnost po vyprání, v mém případě je  $M_2$  rozdíl celkové hmotnosti vysušeného kameniva ( $m_{\text{kameniva}}$ ) a hmotnosti jemných částic propadlých propíráním směsí trichloretylenem do patrony - ( $m_{\text{jemné}}$ ).

$\sum R_i + P$  = součet jednotlivých hmotností dílčích zbytků a propad sítem 0,063mm.

U každého vzorku je na grafu vidět skutečný průběh zrnitostní křivky a lze ho porovnat s průběhem Fullerovy paraboly.

### 5.5.1 VZOREK SMA 11S

115°C – Jemná část

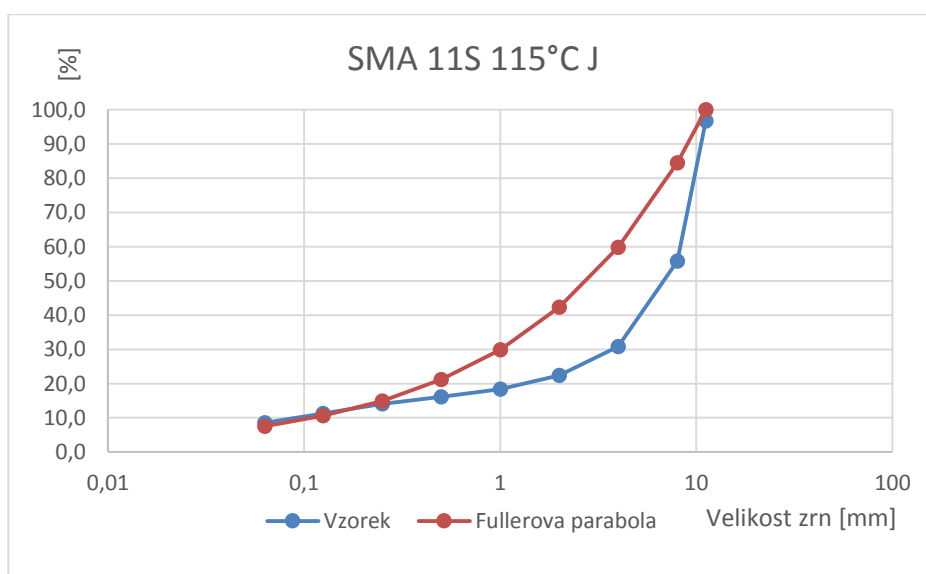
- Obsah asfaltu 6,1%

Tabulka 3 - Hmotnost patrony a nádob při 115°C, jemná část, SMA 11S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,3	Plné	3014
Plná	758,7	Prázdné	2544,5
$m_{\text{jemných částic}}$	35,4	$m_{\text{kameniva}}$	469,5

Tabulka 4 - Sítový rozbor při 115°C, jemná část, SMA 11S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	15,3	3,3	3,3	96,7
8	192,4	41,0	44,2	55,8
4	117,4	25,0	69,2	30,8
2	39,5	8,4	77,7	22,3
1	18,7	4,0	81,6	18,4
0,5	10,7	2,3	83,9	16,1
0,25	9,3	2,0	85,9	14,1
0,125	13,5	2,9	88,8	11,2
0,063	12,5	2,7	91,4	8,6
propad	38,7	8,2	99,7	0,3
$\Sigma$	468	Kontrola	0,3%	



Obr. 5.14 - Křivka zrnitosti při 115°C, jemná část, SMA 11S

## 115°C – Hrubá část

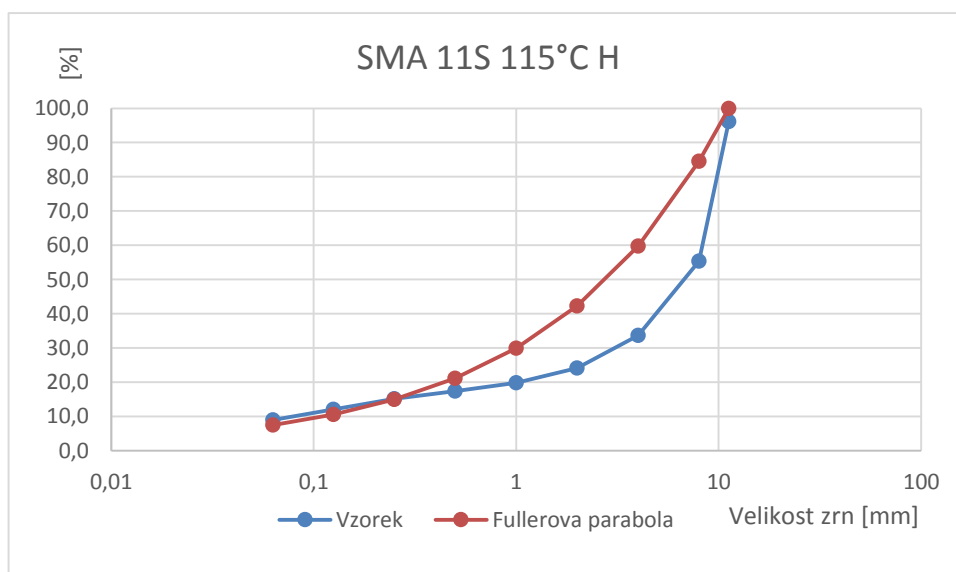
- Obsah asfaltu 6,3%

Tabulka 5 - Hmotnost patrony a nádob při 115°C, hrubá část, SMA 11S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,5	Plné	3011,3
Plná	758,5	Prázdné	2543,7
$m_{\text{jemných částic}}$	35	$m_{\text{kameniva}}$	467,6

Tabulka 6 - Sítový rozbor při 115°C, hrubá část, SMA 11S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	18	3,8	3,8	96,2
8	190,7	40,8	44,6	55,4
4	101,6	21,7	66,4	33,6
2	44,7	9,6	75,9	24,1
1	19,7	4,2	80,1	19,9
0,5	11,6	2,5	82,6	17,4
0,25	10,4	2,2	84,8	15,2
0,125	14,7	3,1	88,0	12,0
0,063	14,1	3,0	91,0	9,0
propad	39,6	8,5	99,5	0,5
$\Sigma$	465,1	Kontrola	0,5%	

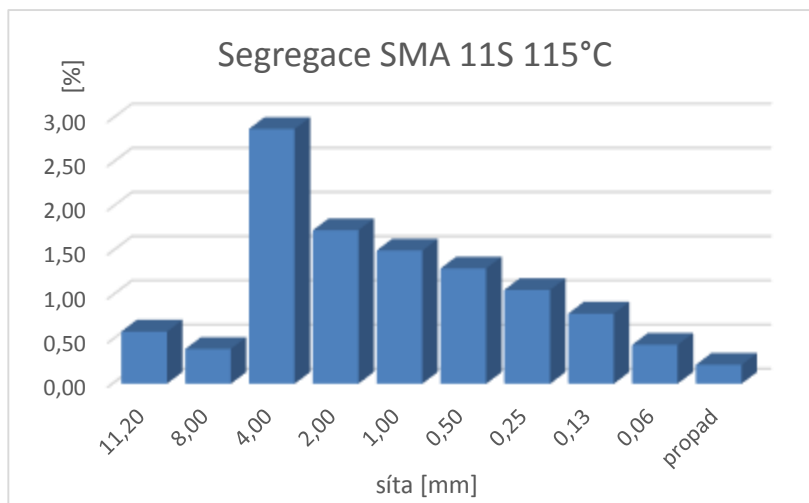


Obr. 5.15 - Křivka zrnitosti při 115°C, hrubá část, SMA 11S

Hodnota segregace:

Tabulka 7 - Hodnoty segregace  
při 115°C, SMA 11S

Síta [mm]	Segregace
16	0,00
11,2	0,59
8	0,39
4	2,88
2	1,74
1	1,51
0,5	1,31
0,25	1,06
0,125	0,79
0,063	0,44
propad	0,22



Obr. 5.16 - Hodnota segregace při 115°C, SMA 11S

Z tabulky nebo z grafu je vidět, že maximální hodnota segregace asfaltové směsi SMA 11S je nejvyšší na třetím sítě, což v tomto případě odpovídá velikosti síta 4 mm.

Při této směsi bylo nutné jako menší ze dvou teplot vzít místo stanovené teploty 100°C teplotu 115°C, protože při 100°C byl čas propadu směsi z násypky segregátoru větší než 15 s. To bylo způsobeno přidáním vláken TOPCEL, které se přidávají do asfaltových koberců mastixových, z důvodu snížení stékavosti pojiva.

U čáry zrnitosti je možné názorně vidět, že se jedná o směs s přerušenou čarou zrnitosti. Větší zrna se výrazněji podílí na složení směsi.

150°C – jemná část

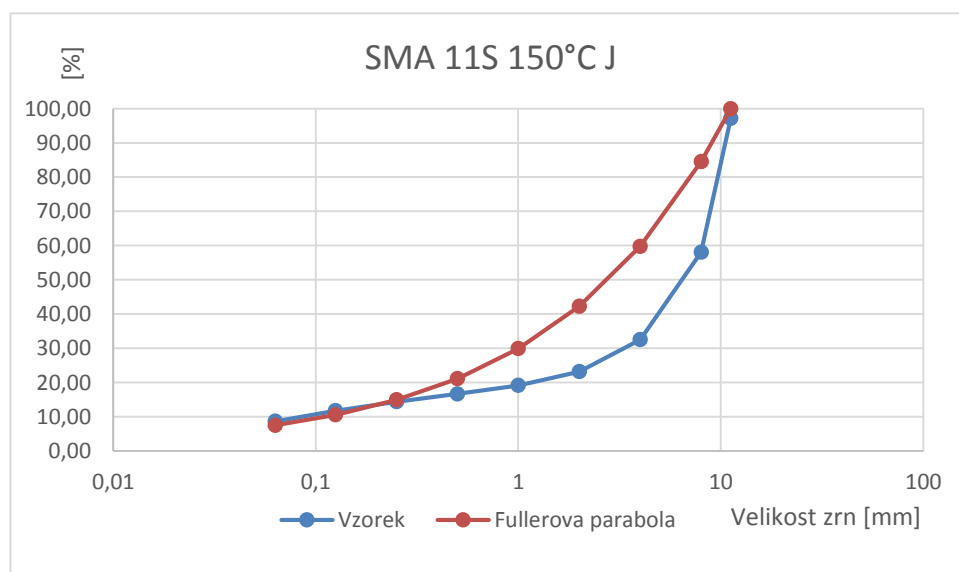
- Obsah asfaltu 4,2%

Tabulka 8 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, SMA 11S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,5	Plná	3020
Plná	758,4	Prázdne	2541,2
$m_{\text{jemných částic}}$	34,9	$m_{\text{kameniva}}$	478,8

Tabulka 9 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, SMA 11S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	13,6	2,8	2,8	97,2
8	187,2	39,1	41,9	58,1
4	122,3	25,5	67,5	32,5
2	44,7	9,3	76,8	23,2
1	19,3	4,0	80,8	19,2
0,5	11,8	2,5	83,3	16,7
0,25	11	2,3	85,6	14,4
0,125	12,6	2,6	88,2	11,8
0,063	14,8	3,1	91,3	8,7
propad	40,1	8,4	99,7	0,3
$\Sigma$	477,4	Kontrola	0,3%	



Obr. 5.17 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, SMA 11S



## 150°C – hrubá část

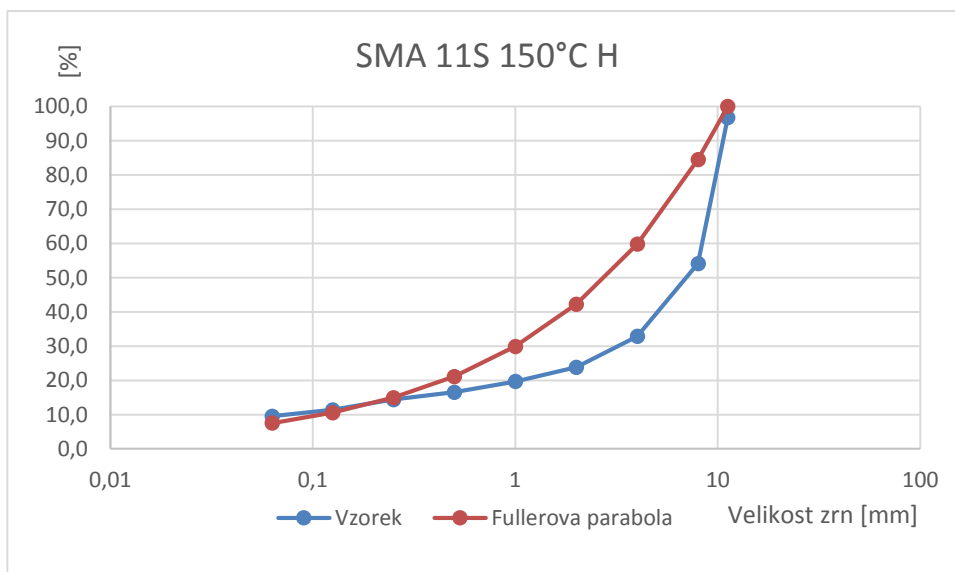
- Obsah asfaltu 5,3%

Tabulka 10 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, SMA 11S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	715,8	Plné	1821,5
Plná	758,5	Prázdné	1347,9
$m_{\text{jemných částic}}$	42,7	$m_{\text{kameniva}}$	473,6

Tabulka 11 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, SMA 11S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	15,6	3,3	3,3	96,7
8	201,6	42,6	45,9	54,1
4	100,9	21,3	67,2	32,8
2	42,6	9,0	76,2	23,8
1	19,9	4,2	80,4	19,6
0,5	14,8	3,1	83,5	16,5
0,25	10,2	2,2	85,6	14,4
0,125	14	3,0	88,6	11,4
0,063	8,9	1,9	90,5	9,5
propad	44,9	9,5	100,0	0,0
$\Sigma$	473,4	Kontrola	0,0%	

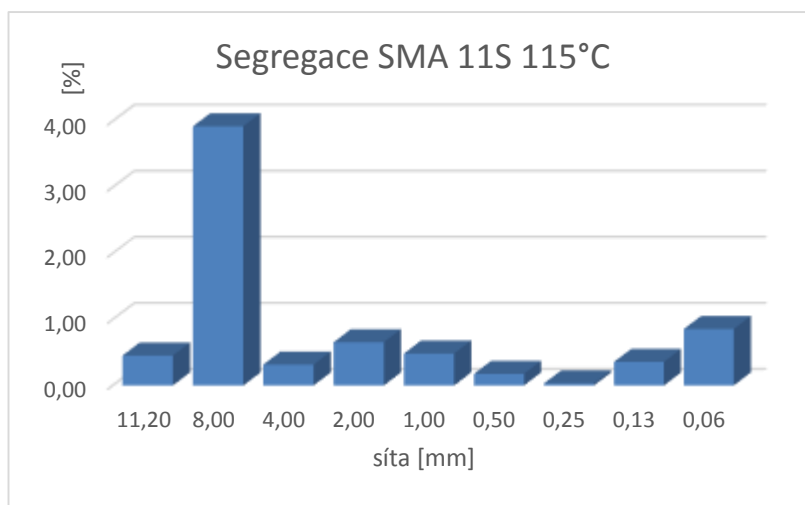


Obr. 5.18 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, SMA 11S

Hodnota segregace:

Tabulka 12 - Hodnota segregace při 150°C, SMA 11S

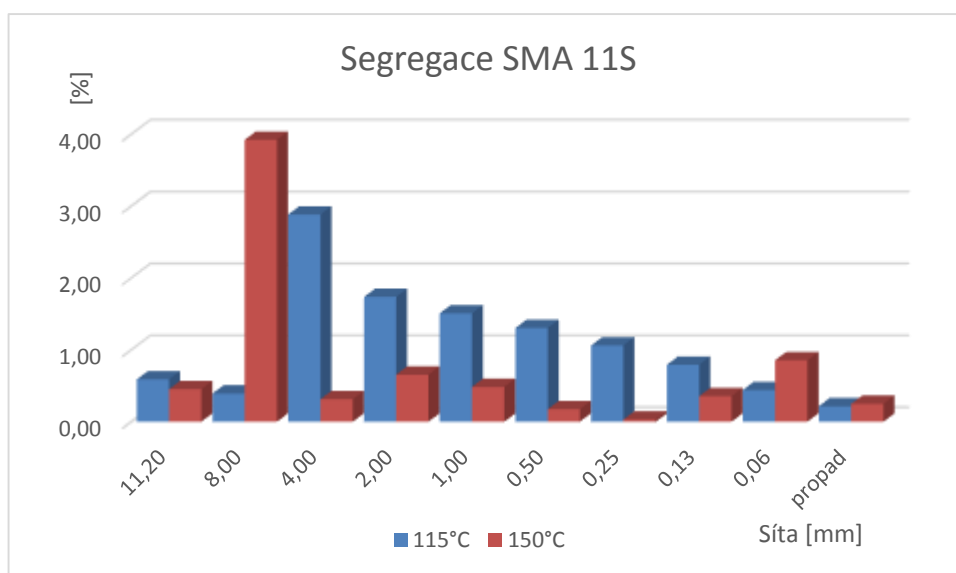
Síta[mm]	Segregace
16	0,00
11,2	0,45
8	3,92
4	0,31
2	0,66
1	0,48
0,5	0,18
0,25	0,03
0,125	0,36
0,063	0,86
propad	0,25



Obr. 5.19 - Hodnota segregace při 150°C, SMA 11S

U 150°C k segregaci téměř nedochází. Pouze u síta o velikosti 8 mm dochází k lokálnímu nárůstu na necelé 4%.

Srovnání segregace při různých teplotách:



Obr. 5.20 - Hodnota segregace při různých teplotách, SMA 11S

Z porovnání je patrné, že kromě tří sít je segregace vždy vyšší při nižší teplotě, v tomto případě při 115°C.

## 5.5.2 VZOREK ACO 11S

100°C – Jemná část

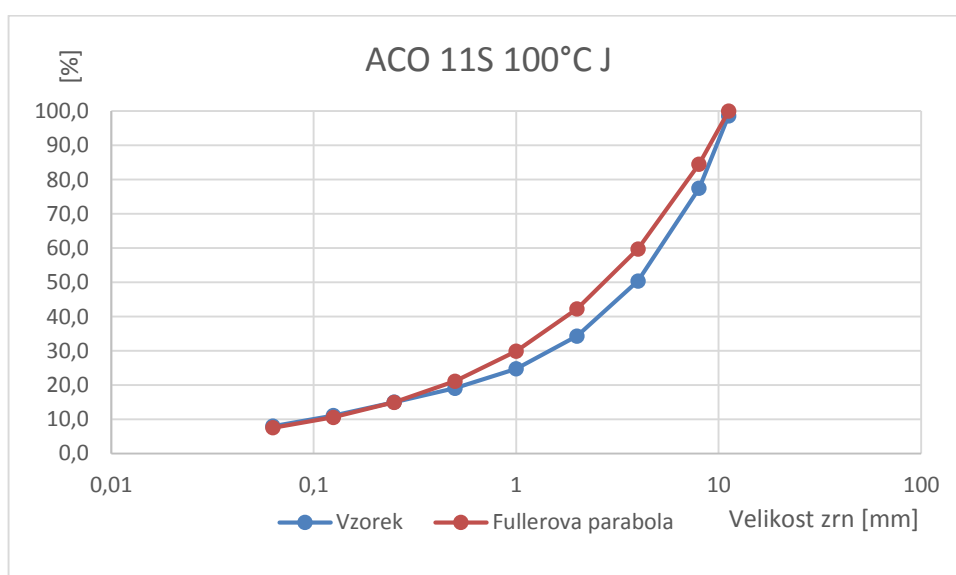
- Obsah asfaltu 5,2%

Tabulka 13 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, jemná část, ACO 11S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,4	Plné	3010,5
Plná	755,8	Prázdné	2536,4
$m_{\text{jemných částic}}$	32,4	$m_{\text{kameniva}}$	474,1

Tabulka 14 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACO 11S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	6,5	1,4	1,4	98,6
8	100,4	21,2	22,5	77,5
4	128,2	27,0	49,6	50,4
2	76,3	16,1	65,7	34,3
1	45,4	9,6	75,3	24,7
0,5	26,8	5,7	80,9	19,1
0,25	19,4	4,1	85,0	15,0
0,125	18,7	3,9	88,9	11,1
0,063	14,6	3,1	92,0	8,0
propad	36,2	7,6	99,7	0,3
$\Sigma$	472,5	Kontrola	0,3%	



Obr. 5.21 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACO 11S

## 100°C – Hrubá část

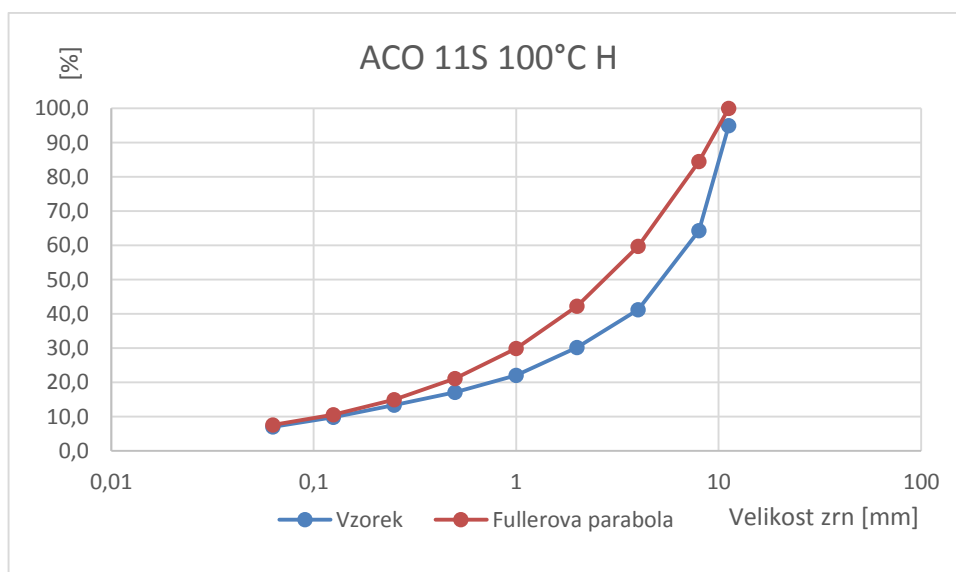
- Obsah asfaltu 4,5%

Tabulka 15 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACO 11S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,5	Plné	3015,8
Plná	750,5	Prázdné	2538,5
$m_{\text{jemných částic}}$	27	$m_{\text{kameniva}}$	477,3

Tabulka 16 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACO 11S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	24,2	5,1	5,1	94,9
8	146,3	30,7	35,7	64,3
4	110,3	23,1	58,8	41,2
2	52,6	11,0	69,9	30,1
1	38,5	8,1	77,9	22,1
0,5	24	5,0	82,9	17,1
0,25	17,5	3,7	86,6	13,4
0,125	17,4	3,6	90,3	9,7
0,063	13,2	2,8	93,0	7,0
propad	31,3	6,6	99,6	0,4
$\Sigma$	475,3	Kontrola	0,4%	

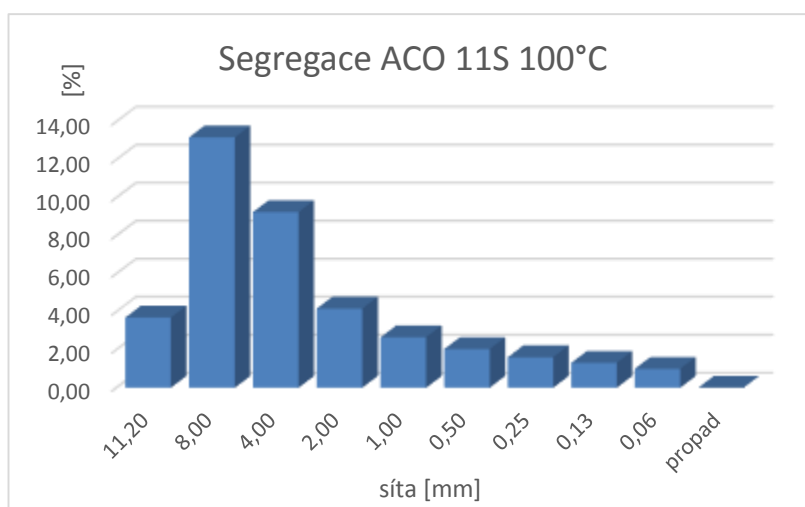


Obr. 5.22 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACO 11S

Hodnota segregace:

Tabulka 17 - Hodnota segregace při 100°C, ACO 11S

Síta [mm]	Segregace
16	0,00
11,2	3,70
8	13,17
4	9,24
2	4,17
1	2,66
0,5	2,03
0,25	1,61
0,125	1,31
0,063	1,00
propad	-0,08



Obr. 5.23 - Hodnota segregace při 100°C, ACO 11S

Hodnota segregace u směsi ACO 11S při 100°C vychází o poznání vyšší než u směsi SMA 11S. Nejvyšší vychází u zrn velikosti 8 mm a dosahuje přes 13%.

Dále je možné si všimnout, že zrnitostní křivka u jemných částic lépe kopíruje Fullerovu parabolu, zatímco hrubá část se od ní odchyluje.

## 150°C – Jemná část

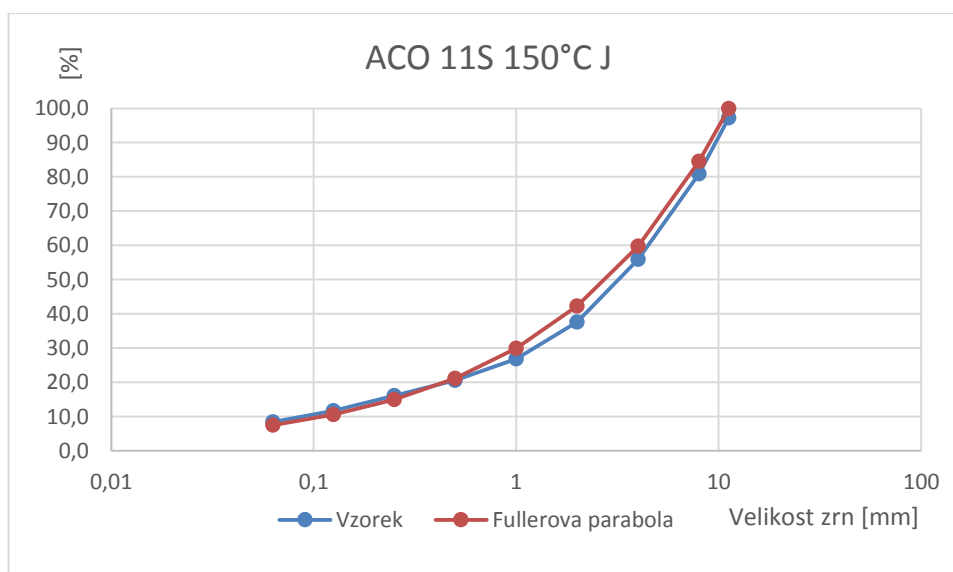
- Obsah asfaltu 5,7%

Tabulka 18 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACO 11S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,3	Plné	3011,5
Plná	751,6	Prázdné	2540
$m_{\text{jemných částic}}$	28,3	$m_{\text{kameniva}}$	471,5

Tabulka 19 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACO 11S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	13,2	2,8	2,8	97,2
8	77	16,3	19,1	80,9
4	117,7	25,0	44,1	55,9
2	86,5	18,3	62,4	37,6
1	50,8	10,8	73,2	26,8
0,5	29,2	6,2	79,4	20,6
0,25	21,2	4,5	83,9	16,1
0,125	20,8	4,4	88,3	11,7
0,063	15,5	3,3	91,6	8,4
propad	37,6	8,0	99,6	0,4
$\Sigma$	469,5	Kontrola	0,4%	



Obr. 5.24 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACO 11S

## 150°C – Hrubá část

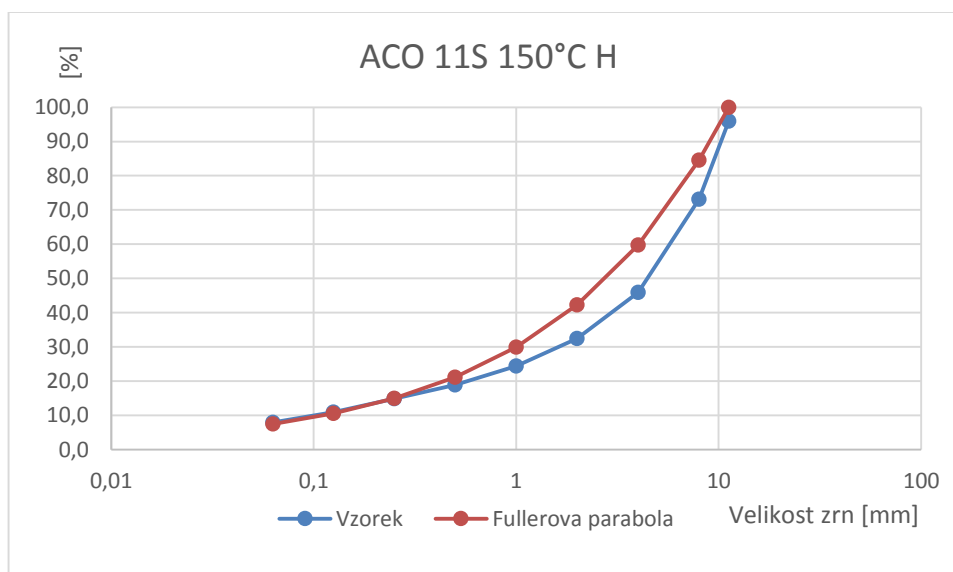
- Obsah asfaltu 4,5%

Tabulka 20 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACO 11S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,4	Plné	3014,8
Plná	755,3	Prázdné	2537,1
$m_{\text{jemných částic}}$	31,9	$m_{\text{kameniva}}$	477,7

Tabulka 21 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACO 11S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	19,3	4,0	4,0	96,0
8	109	22,8	26,9	73,1
4	130,3	27,3	54,1	45,9
2	63,9	13,4	67,5	32,5
1	38,8	8,1	75,6	24,4
0,5	26	5,4	81,1	18,9
0,25	19,4	4,1	85,1	14,9
0,125	18,8	3,9	89,1	10,9
0,063	14,2	3,0	92,0	8,0
propad	36,1	7,6	99,6	0,4
$\Sigma$	475,8	Kontrola	0,4%	

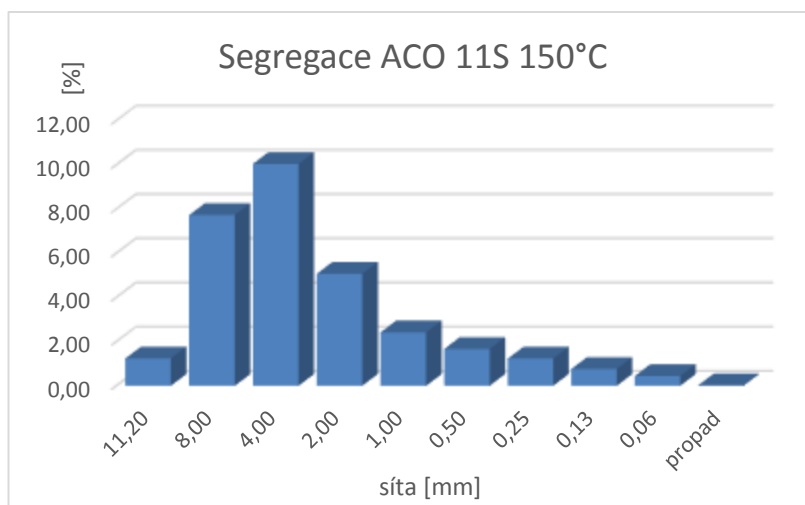


Obr. 5.25 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACO 11S

## Hodnota segregace:

Tabulka 22 - Hodnota segregace při 150°C, ACO 11S

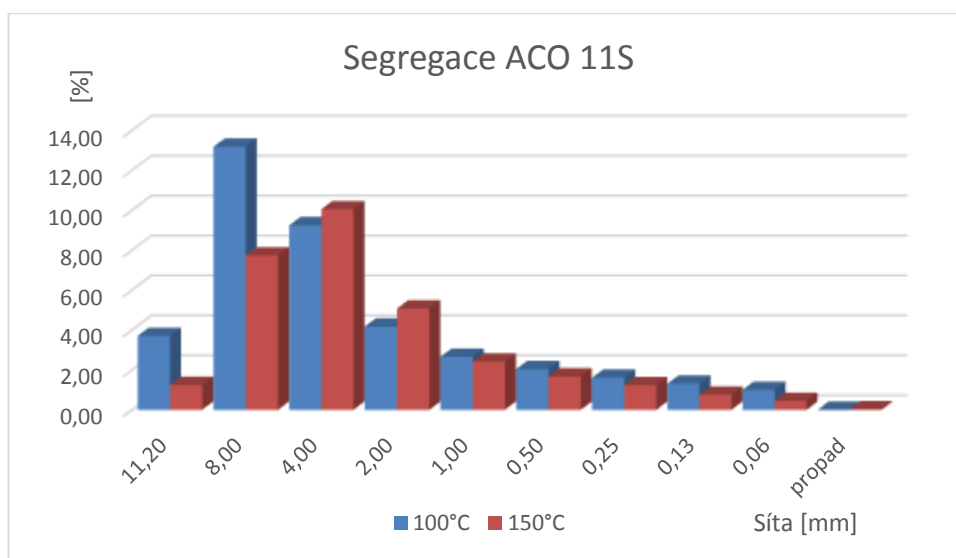
Síta [mm]	Segregace
16	0,00
11,2	1,24
8	7,73
4	10,04
2	5,07
1	2,42
0,5	1,67
0,25	1,23
0,125	0,76
0,063	0,44
propad	0,03



Obr. 5.26 - Hodnota segregace při 150°C, ACO 11S

Oproti teplotě 100°C vyháží segregace menší, konkrétně 10%. Průběh křivky zrnitosti je obdobný jako u segregace při 100°C. I čáry zrnitosti mají obdobný průběh jako při teplotě 100°C. U jemných částic je průběh bližší Fullerově parabole.

## Srovnání segregace při různých teplotách:



Obr. 5.27 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACO 11S

I zde platí trend, že segregace asfaltové směsi je ve většině případech větší u menší teploty, čili 100°C. U zrna velikosti 4 mm a 2 mm je sice segregace vyšší u 150°C, ale v globálním měřítku oproti jiným rozdílům se jedná o zanedbatelné hodnoty.



### 5.5.3 VZOREK ACL 16+

100°C – jemná část

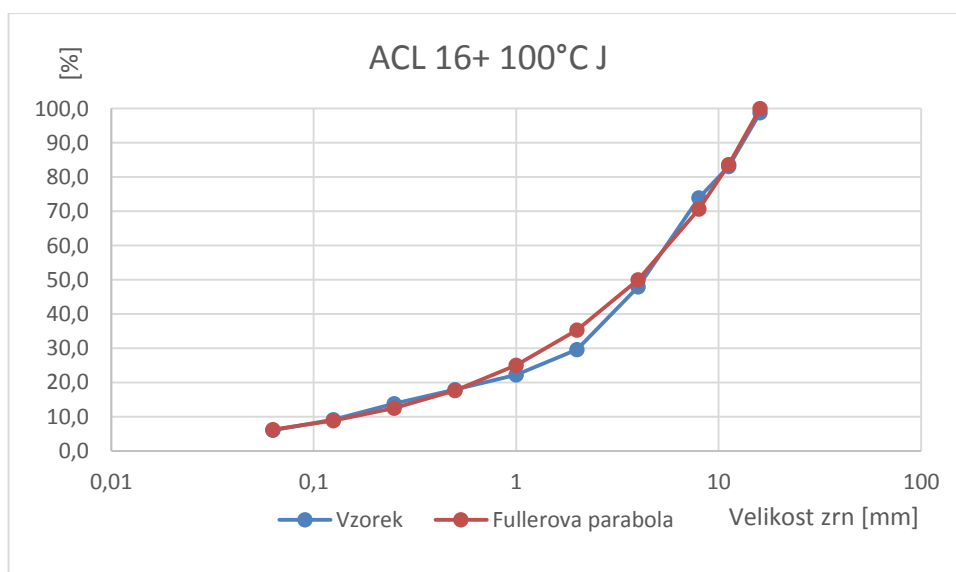
- Obsah asfaltu 5,6%

Tabulka 23 - Hmotnost patроны a nádob při 100°C, jemná část, ACL 16+

Hmotnost patроны [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,4	Plné	3016,3
Plná	747,5	Prázdné	2544,4
$m_{\text{jemných částic}}$	24,1	$m_{\text{kameniva}}$	471,9

Tabulka 24 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACL 16+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	5,4	1,1	1,1	98,9
11,2	74,3	15,7	16,9	83,1
8	43,4	9,2	26,1	73,9
4	122,6	26,0	52,1	47,9
2	86,5	18,3	70,4	29,6
1	34,9	7,4	77,8	22,2
0,5	20,4	4,3	82,1	17,9
0,25	19	4,0	86,1	13,9
0,125	22,3	4,7	90,9	9,1
0,063	14,5	3,1	93,9	6,1
propad	27,9	5,9	99,9	0,1
$\Sigma$	471,2	Kontrola	0,1%	



Obr. 5.28 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACL 16+

## 100°C – Hrubá část

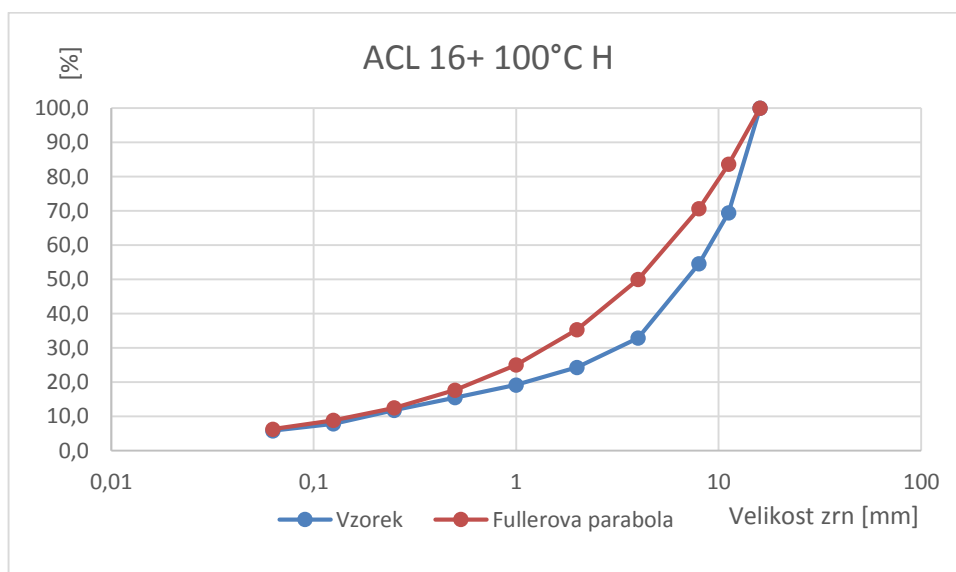
- Obsah asfaltu 4,9%

Tabulka 25 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACL 16+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	715,1	Plná	1826,8
Plná	740	Prázdné	1351,3
$m_{\text{jemných částic}}$	24,9	$m_{\text{kameniva}}$	475,5

Tabulka 26 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACL 16+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	145,2	30,5	30,5	69,5
8	70,5	14,8	45,4	54,6
4	103,4	21,7	67,1	32,9
2	40,7	8,6	75,7	24,3
1	24,5	5,2	80,8	19,2
0,5	17,6	3,7	84,5	15,5
0,25	17,5	3,7	88,2	11,8
0,125	18,9	4,0	92,2	7,8
0,063	9,5	2,0	94,2	5,8
propad	26,9	5,7	99,8	0,2
$\Sigma$	474,7	Kontrola	0,2%	

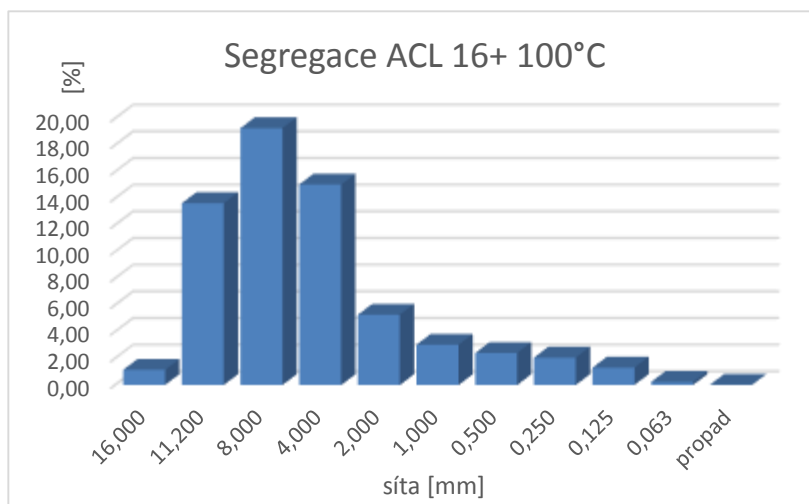


Obr. 5.29 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACL 16+

Hodnota segregace:

Tabulka 27 - Hodnota  
segregace při 100°C, ACL 16+

Síta [mm]	Segregace
16	1,14
11,2	13,65
8	19,28
4	15,04
2	5,27
1	3,03
0,5	2,41
0,25	2,06
0,125	1,31
0,063	0,24
propad	0,02



Obr. 5.30 - Hodnota segregace při 100°C, ACL 16+

U asfaltových betonů s větší velikostí maximálního zrna dochází i k vyšší segregaci směsi, u této směsi hodnota šplhá téměř ke 20%. Průběh křivky zrnitosti je obdobný jako u předcházející směsi.

## 150°C – Jemná část

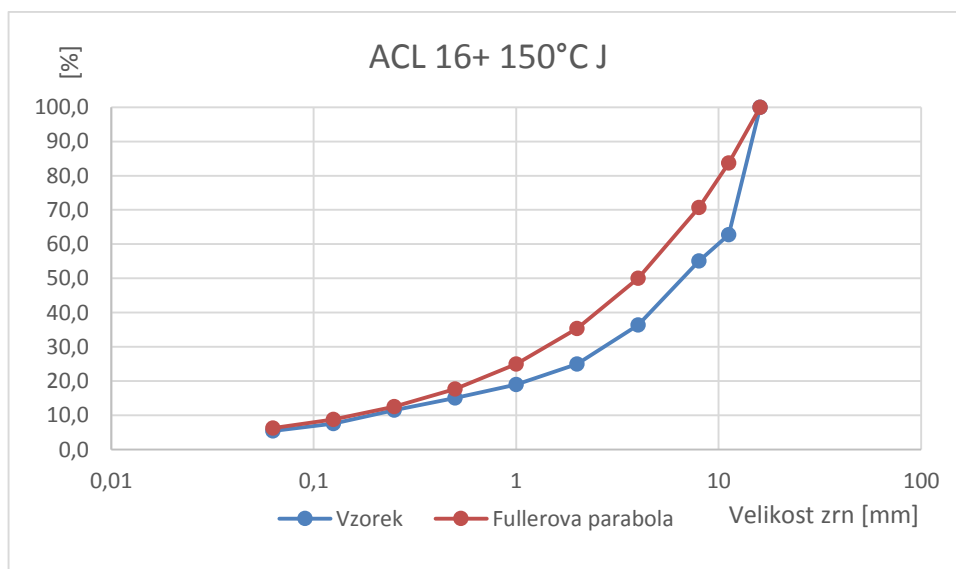
- Obsah asfaltu 4,8%

Tabulka 28 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACL 16+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	715	Plné	1827
Plná	734,9	Prázdné	1351
$m_{\text{jemných částic}}$	19,9	$m_{\text{kameniva}}$	476

Tabulka 29 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACL 16+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	177,5	37,3	37,3	62,7
8	36,5	7,7	45,0	55,0
4	88,9	18,7	63,6	36,4
2	54	11,3	75,0	25,0
1	28,8	6,1	81,0	19,0
0,5	18,4	3,9	84,9	15,1
0,25	17,1	3,6	88,5	11,5
0,125	18,7	3,9	92,4	7,6
0,063	10,2	2,1	94,6	5,4
propad	24,9	5,2	99,8	0,2
$\Sigma$	475	Kontrola	0,2%	



Obr. 5.31 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACL 16+

## 150°C – Hrubá část

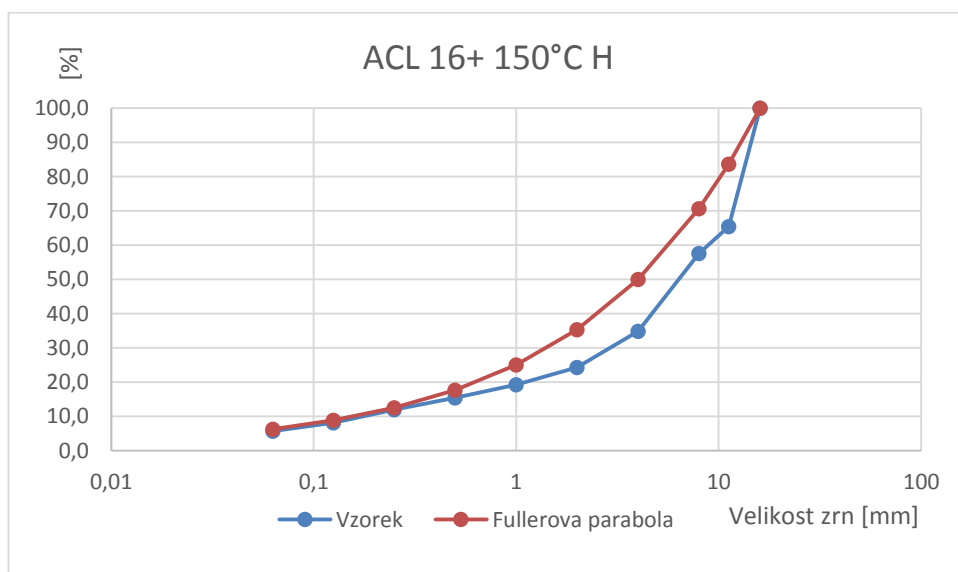
- Obsah asfaltu 4,4%

Tabulka 30 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACL 16+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,6	Plná	3022,7
Plná	747,2	Prázdné	2544,6
$m_{\text{jemných částic}}$	23,6	$m_{\text{kameniva}}$	478,1

Tabulka 31 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACL 16+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	165,1	34,5	34,5	65,5
8	37,7	7,9	42,4	57,6
4	108,7	22,7	65,2	34,8
2	50,4	10,5	75,7	24,3
1	24,3	5,1	80,8	19,2
0,5	18,1	3,8	84,6	15,4
0,25	16,5	3,5	88,0	12,0
0,125	18,3	3,8	91,8	8,2
0,063	12	2,5	94,4	5,6
propad	26	5,4	99,8	0,2
$\Sigma$	477,1	Kontrola	0,2%	

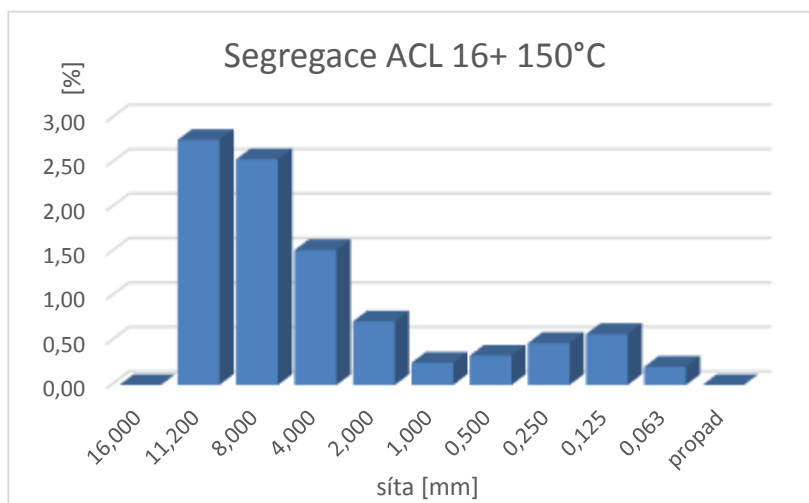


Obr. 5.32 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACL 16+

Hodnota segregace:

Tabulka 32 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 16+

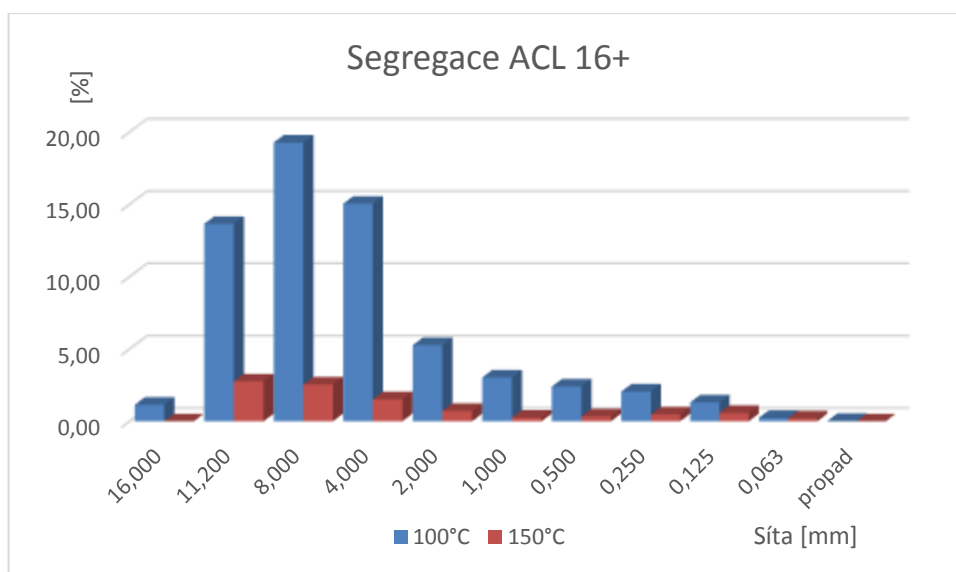
Síta [mm]	Segregace
16	0,00
11,2	2,76
8	2,54
4	1,52
2	0,72
1	0,25
0,5	0,33
0,25	0,47
0,125	0,57
0,063	0,21
propad	0,00



Obr. 5.33 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 16+

Hodnota segregace s vyšší teplotou výrazně klesla. Z téměř 20% při teplotě 100°C na hodnotu necelé 3% při 150°C. Je možné si všimnout odlišnosti u čar zrnitosti směsí. Jak u jemných částic, tak u hrubých se jedná o přerušené čáry.

Srovnání segregace při různých teplotách:



Obr. 5.34 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACL 16+

Na první pohled je patrná nižší hodnota segregace směsi při vyšší teplotě.

### 5.5.4 VZOREK ACP 16+

100°C – Jemná část

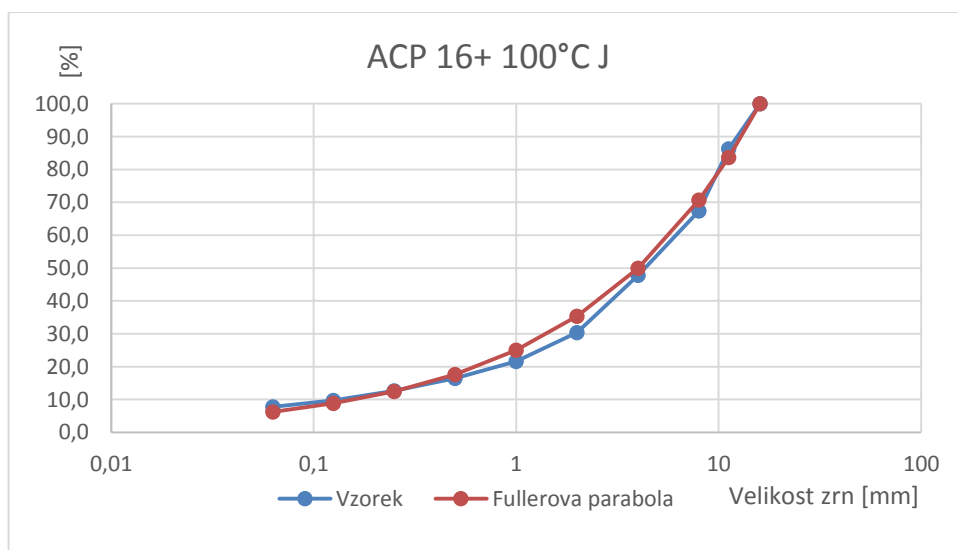
- Obsah asfaltu 5,1%

Tabulka 33 - Hmotnost patроны a nádob při 100°C, jemná část, ACP 16+

Hmotnost patроны [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,4	Plné	3019,7
Plná	755,3	Prázdné	2545
$m_{\text{jemných částic}}$	31,9	$m_{\text{kameniva}}$	474,7

Tabulka 34 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACP 16+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	64,9	13,7	13,7	86,3
8	89,7	18,9	32,6	67,4
4	93	19,6	52,2	47,8
2	82,7	17,4	69,6	30,4
1	41,8	8,8	78,4	21,6
0,5	24,4	5,1	83,5	16,5
0,25	18	3,8	87,3	12,7
0,125	13,9	2,9	90,2	9,8
0,063	9,5	2,0	92,2	7,8
propad	36,3	7,6	99,9	0,1
$\Sigma$	474,2	Kontrola	0,1%	



Obr. 5.35 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACP 16+

## 100°C – Hrubá část

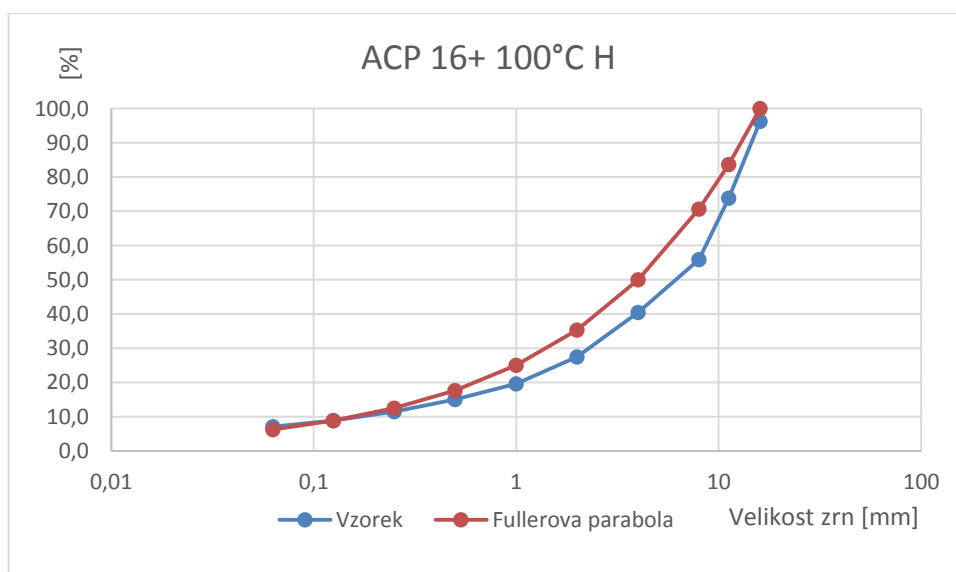
- Obsah asfaltu 4,6%

Tabulka 35 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACP 16+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,3	Plné	3021,5
Plná	751,1	Prázdné	2544,6
$m_{\text{jemných částic}}$	27,8	$m_{\text{kameniva}}$	476,9

Tabulka 36 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACP 16+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	17,7	3,7	3,7	96,3
11,2	107,1	22,5	26,2	73,8
8	85,5	17,9	44,1	55,9
4	73,6	15,4	59,5	40,5
2	62	13,0	72,5	27,5
1	37,4	7,8	80,4	19,6
0,5	22	4,6	85,0	15,0
0,25	16,7	3,5	88,5	11,5
0,125	12,8	2,7	91,2	8,8
0,063	8,5	1,8	93,0	7,0
propad	33,2	7,0	99,9	0,1
$\Sigma$	476,5	Kontrola	0,1%	



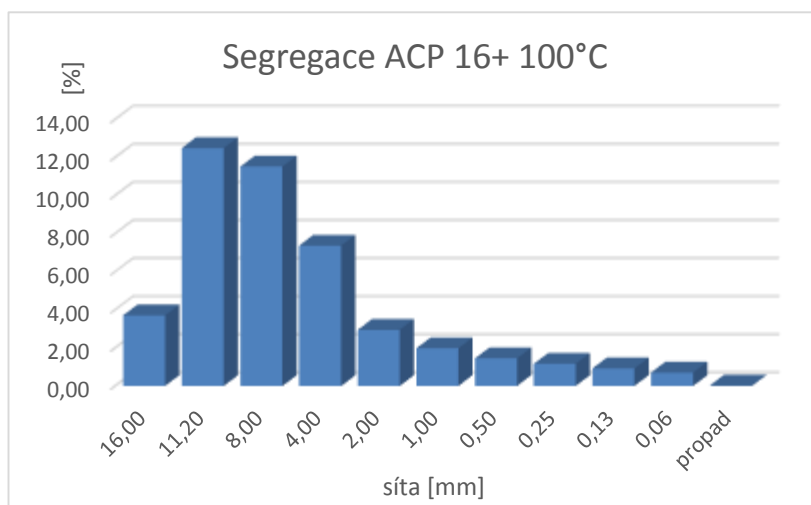
Obr. 5.36 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACP 16+



Hodnota segregace:

Tabulka 37 - Hodnota segregace při 100°C, ACP 16+

Síta [mm]	Segregace
16	3,71
11,2	12,50
8	11,53
4	7,37
2	2,95
1	1,99
0,5	1,46
0,25	1,17
0,125	0,93
0,063	0,71
propad	0,02



Obr. 5.37 - Hodnota segregace při 100°C, ACP 16+

Hodnota segregace směsi ACP 16+ při 100°C je asi o 6% menší, než u předcházející směsi ACL 16+. Její průběh je ale velice podobný. Křivka zrnitosti u jemných částic opět lépe kopíruje Fullerovu parabolu, než hrubé části.

## 150°C – Jemná část

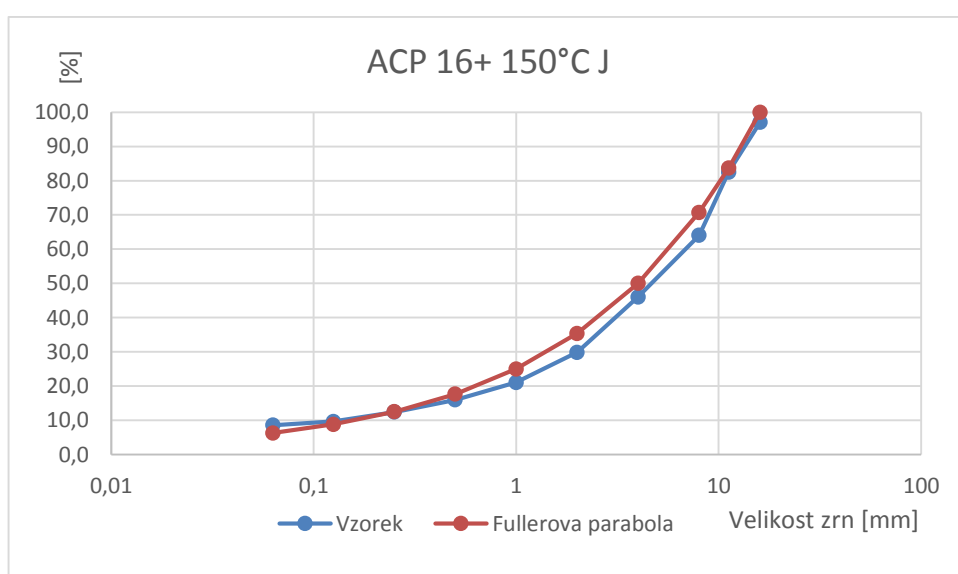
- Obsah asfaltu 4,9%

Tabulka 38 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACP 16+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	715,1	Plné	1826,2
Plná	753,9	Prázdné	1350,7
$m_{\text{jemných částic}}$	38,8	$m_{\text{kameniva}}$	475,5

Tabulka 39 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACP 16+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	14	2,9	2,9	97,1
11,2	69,2	14,6	17,5	82,5
8	87,7	18,4	35,9	64,1
4	85,8	18,0	54,0	46,0
2	76,8	16,2	70,1	29,9
1	41,9	8,8	78,9	21,1
0,5	24,2	5,1	84,0	16,0
0,25	16,9	3,6	87,6	12,4
0,125	13,1	2,8	90,3	9,7
0,063	5	1,1	91,4	8,6
propad	39,6	8,3	99,7	0,3
$\Sigma$	474,2	Kontrola	0,3%	



Obr. 5.38 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACP 16+

## 150°C – Hrubá část

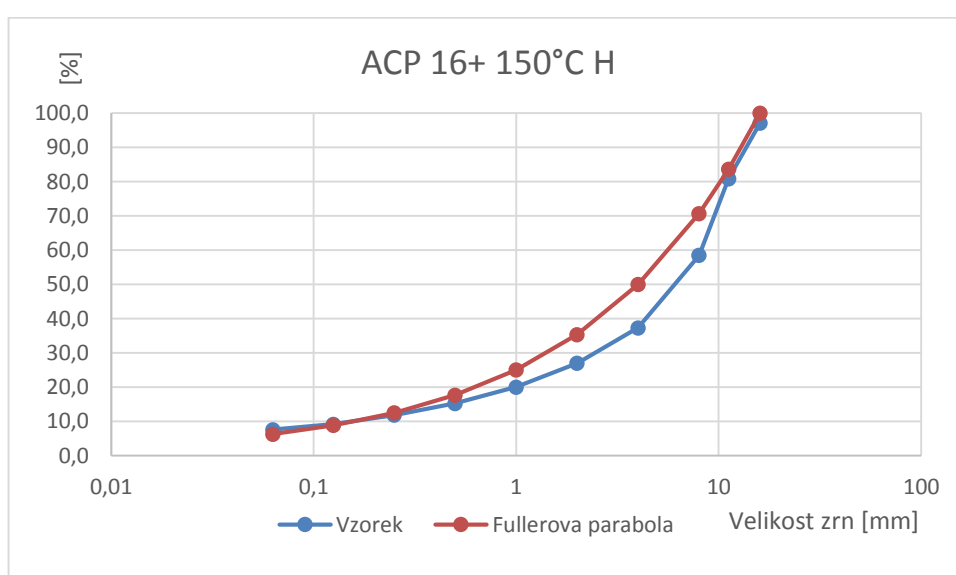
- Obsah asfaltu 3,5%

Tabulka 40 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACP 16+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,6	Plné	3024,1
Plná	755,7	Prázdné	2541,7
$m_{\text{jemných částic}}$	32,1	$m_{\text{kameniva}}$	482,4

Tabulka 41 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACP 16+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
16	13,8	2,9	2,9	97,1
11,2	78,3	16,2	19,1	80,9
8	108,2	22,4	41,5	58,5
4	102	21,1	62,7	37,3
2	50	10,4	73,0	27,0
1	33,6	7,0	80,0	20,0
0,5	23	4,8	84,8	15,2
0,25	16,4	3,4	88,2	11,8
0,125	12,8	2,7	90,8	9,2
0,063	7,7	1,6	92,4	7,6
propad	33,8	7,0	99,4	0,6
$\Sigma$	479,6	Kontrola	0,6%	

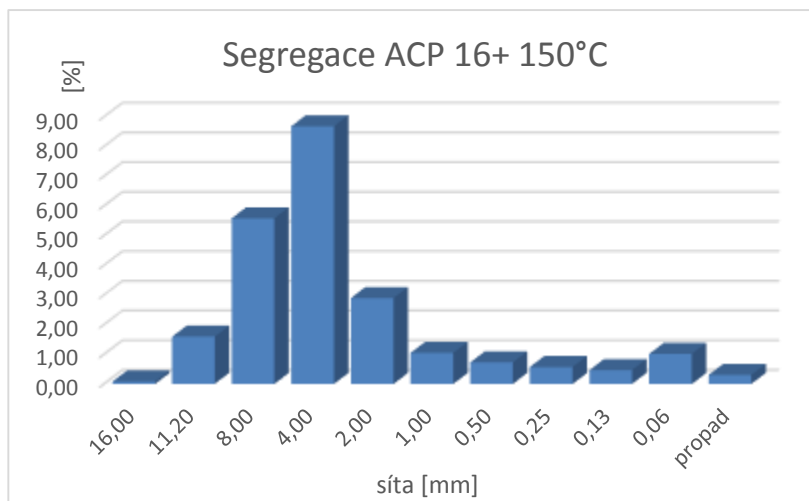


Obr. 5.39 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACP 16+

Hodnota segregace:

Tabulka 42 - Hodnota segregace při 150°C, ACP 16+

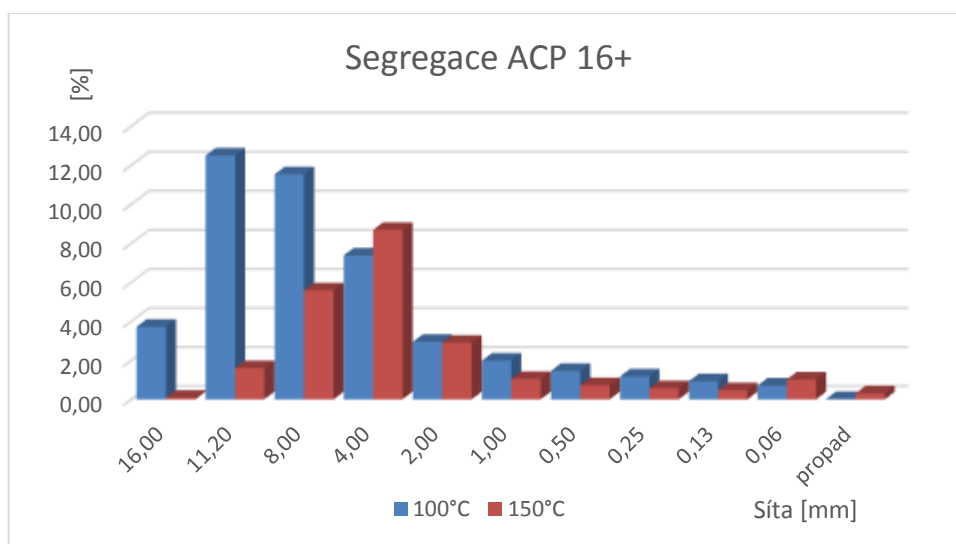
Síta [mm]	Segregace
16	0,08
11,2	1,59
8	5,58
4	8,68
2	2,89
1	1,05
0,5	0,73
0,25	0,57
0,125	0,47
0,063	1,01
propad	0,31



Obr. 5.40 - Hodnota segregace při 150°C, ACP 16+

I zde ji vidět snížení segregace při teplotě 150°C, i když se nejedná o tak velké snížení jako v předcházejícím případě. Čáry zrnitosti mají obdobný průběh.

Srovnání segregace při různých teplotách:



Obr. 5.41 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACP 16+

Opět kromě jednoho síta je znatelně větší hodnota segregace při menší teplotě, tj. 100°C.

### 5.5.5 VZOREK ACL 22S

100°C – Jemná část

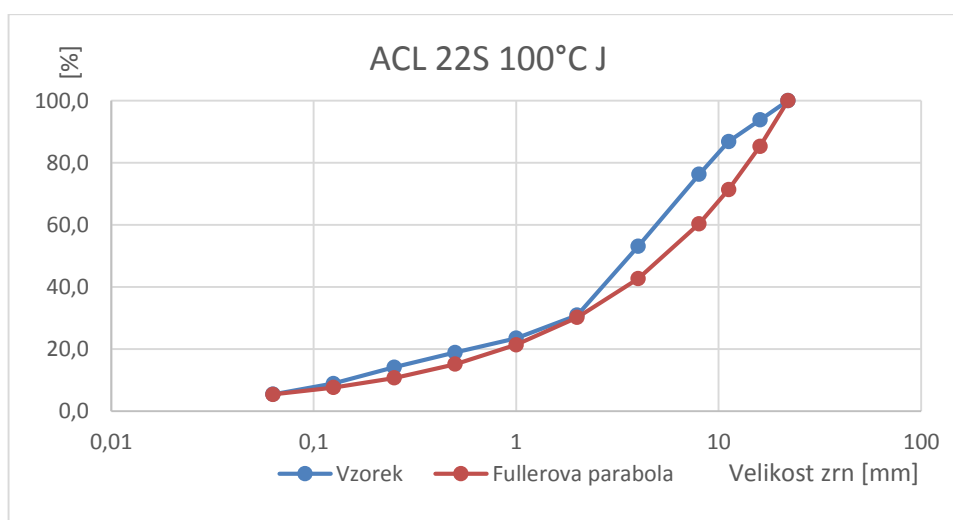
- Obsah asfaltu 6,0%

Tabulka 43 - Hmotnost patроны a nádob při 100°C, jemná část, ACL 22S

Hmotnost patроны [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,3	Plné	3014,8
Plná	743,6	Prázdné	2545
$m_{\text{jemných částic}}$	20,3	$m_{\text{kameniva}}$	469,8

Tabulka 44 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACL 22S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
22	0	0,0	0,0	100,0
16	29,3	6,2	6,2	93,8
11,2	32,6	6,9	13,2	86,8
8	49,7	10,6	23,8	76,2
4	109,1	23,2	47,0	53,0
2	104,1	22,2	69,1	30,9
1	34,8	7,4	76,5	23,5
0,5	21,6	4,6	81,1	18,9
0,25	22,3	4,7	85,9	14,1
0,125	24,7	5,3	91,1	8,9
0,063	16,2	3,4	94,6	5,4
propad	24,9	5,3	99,9	0,1
$\Sigma$	469,3	Kontrola	0,1%	



Obr. 5.42 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACL 22S

## 100°C – Hrubá část

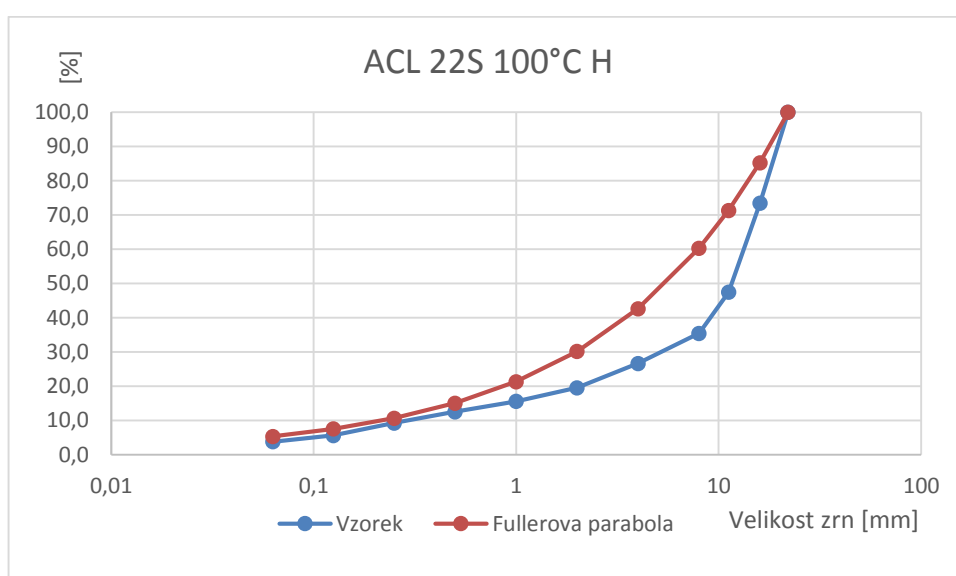
- Obsah asfaltu 4,1%

Tabulka 45 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACL 22S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	715,4	Plné	1830,9
Plná	731,3	Prázdné	1351,3
$m_{\text{jemných částic}}$	15,9	$m_{\text{kameniva}}$	479,6

Tabulka 46 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACL 22S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
22	0	0,0	0,0	100,0
16	127,4	26,6	26,6	73,4
11,2	124,7	26,0	52,6	47,4
8	57,6	12,0	64,6	35,4
4	42,2	8,8	73,4	26,6
2	34	7,1	80,5	19,5
1	19	4,0	84,4	15,6
0,5	14,5	3,0	87,4	12,6
0,25	15,7	3,3	90,7	9,3
0,125	17,7	3,7	94,4	5,6
0,063	8,7	1,8	96,2	3,8
propad	18,1	3,8	100,0	0,0
$\Sigma$	479,6	Kontrola	0,0%	

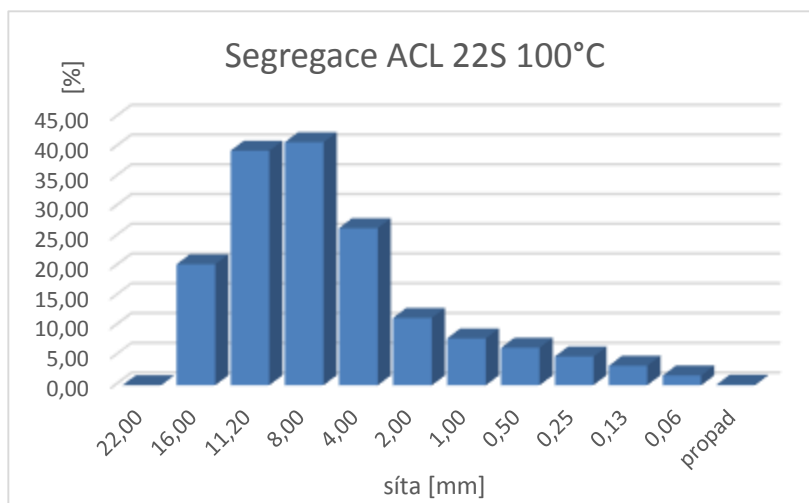


Obr. 5.43 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACL 22S

Hodnota segregace:

Tabulka 47 - Hodnota segregace při 100°C, ALP 22S

Síta [mm]	Segregace
22	0,00
16	20,33
11,2	39,39
8	40,82
4	26,40
2	11,33
1	7,88
0,5	6,31
0,25	4,83
0,125	3,27
0,063	1,63
propad	0,11



Obr. 5.44 - Hodnota segregace při 100°C, ALP 22S

U této asfaltové směsi, kde je maximální zrno kameniva 22 mm, dochází k daleko větší segregaci. Oproti obrusným vrstvám se jedná o zvýšení až o jeden řád, na zrnu 8 mm dosahuje hodnoty až 40%.

## 150°C – Jemná část

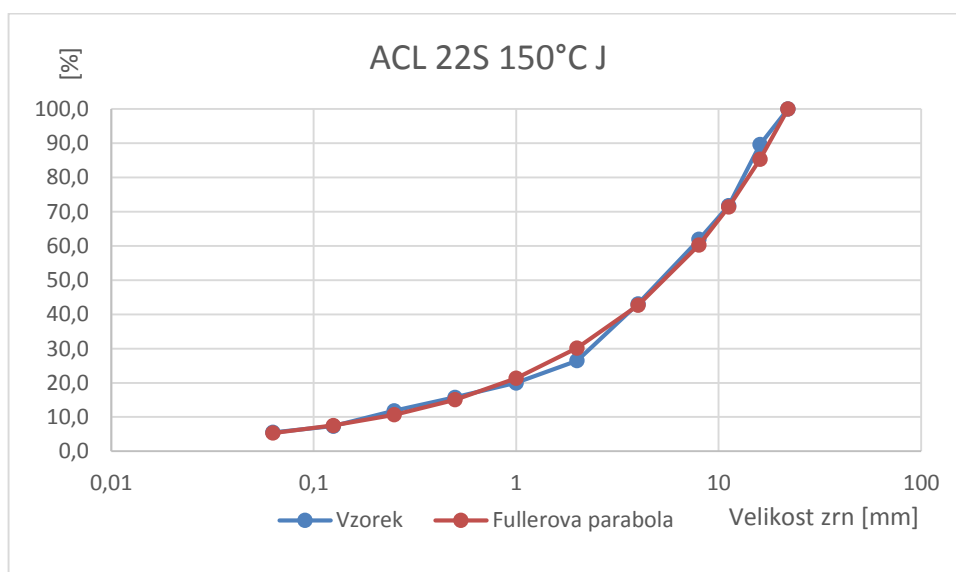
- Obsah asfaltu 5,1%

Tabulka 48 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACL 22S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	714,9	Plné	1826,2
Plná	739	Prázdné	1351,5
$m_{\text{jemných částic}}$	24,1	$m_{\text{kameniva}}$	474,7

Tabulka 49 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACL 22S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
22	0	0,0	0,0	100,0
16	49,4	10,4	10,4	89,6
11,2	84,8	17,9	28,3	71,7
8	46,5	9,8	38,1	61,9
4	89,5	18,9	56,9	43,1
2	78,7	16,6	73,5	26,5
1	31	6,5	80,0	20,0
0,5	19,9	4,2	84,2	15,8
0,25	18,7	3,9	88,2	11,8
0,125	21,2	4,5	92,6	7,4
0,063	8,8	1,9	94,5	5,5
propad	25,1	5,3	99,8	0,2
$\Sigma$	473,6	Kontrola	0,2%	



Obr. 5.45 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACL 22S



## 150°C – Hrubá část

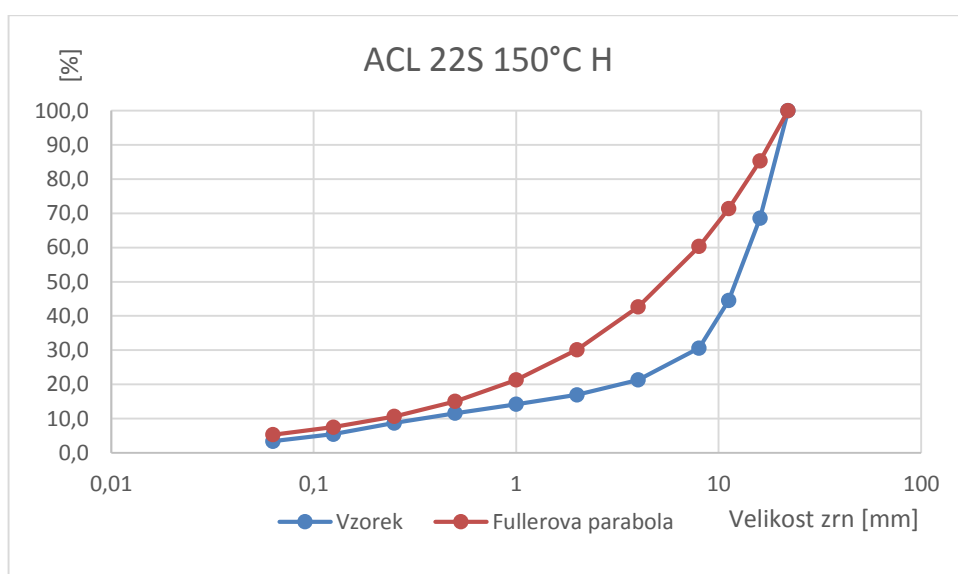
- Obsah asfaltu 3,1%

Tabulka 50 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACL 22S

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,7	Plné	3026,4
Plná	736,7	Prázdné	2541,7
$m_{\text{jemných částic}}$	13	$m_{\text{kameniva}}$	484,7

Tabulka 51 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACL 22S

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
22	0	0,0	0,0	100,0
16	152,5	31,5	31,5	68,5
11,2	116,5	24,0	55,5	44,5
8	67,2	13,9	69,4	30,6
4	45,1	9,3	78,7	21,3
2	21,1	4,4	83,0	17,0
1	13,3	2,7	85,8	14,2
0,5	12,7	2,6	88,4	11,6
0,25	14	2,9	91,3	8,7
0,125	15,7	3,2	94,5	5,5
0,063	10	2,1	96,6	3,4
propad	14,6	3,0	99,6	0,4
$\Sigma$	482,7	Kontrola	0,4%	

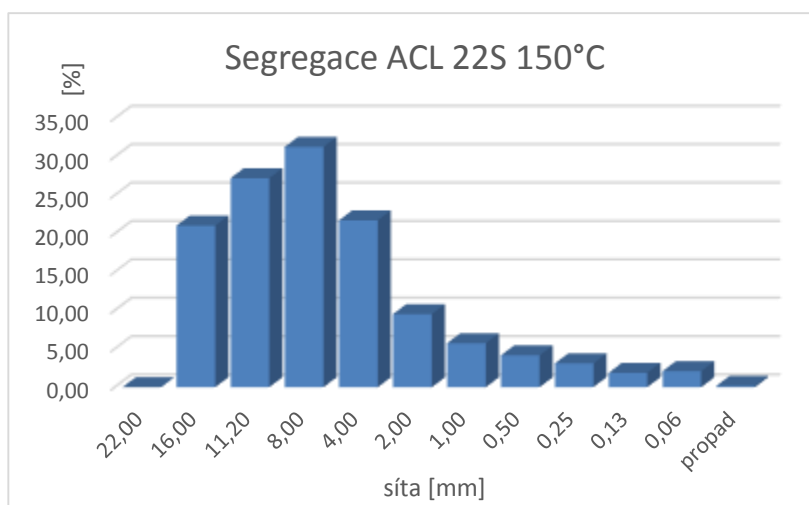


Obr. 5.46 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACL 22S

Hodnota segregace:

Tabulka 52 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 22S

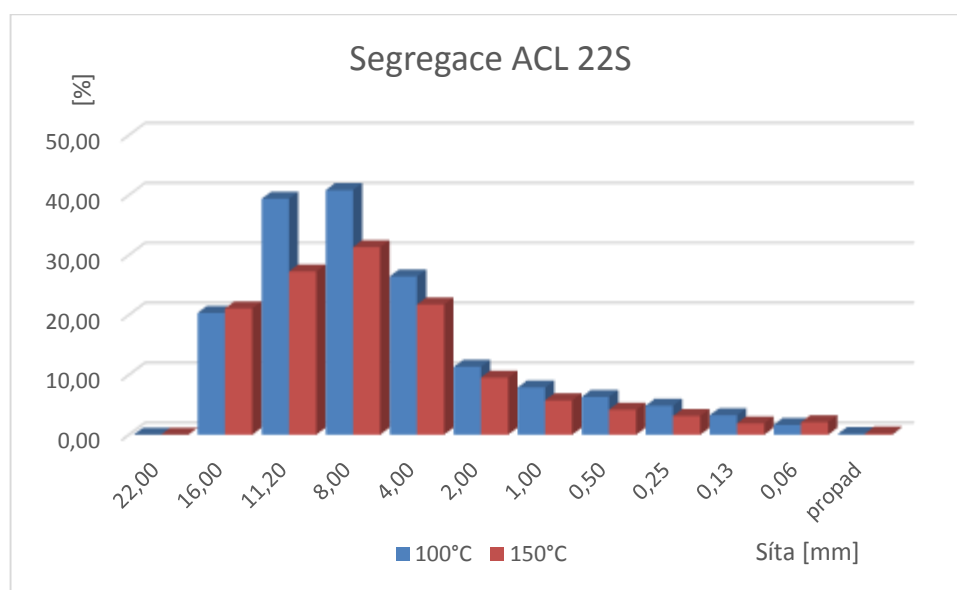
Síta [mm]	Segregace
22	0,00
16	21,06
11,2	27,23
8	31,30
4	21,75
2	9,52
1	5,73
0,5	4,16
0,25	3,11
0,125	1,89
0,063	2,09
propad	0,18



Obr. 5.47 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 22S

I zde je vidět menší hodnota segregace směsi se stoupající teplotou. Čáry zrnitosti mají obdobný průběh jako u směsí s menším maximálním zrnem kameniva, ale u této hrubozrnné směsi je vidět ještě její výraznější přerušení.

Srovnání segregace při různých teplotách:



Obr. 5.48 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACL 22S

Opět je i zde patrné, že segregace směsi klesá s teplotou.

## 5.5.6 VZOREK ACP 22+

100°C – Jemná část

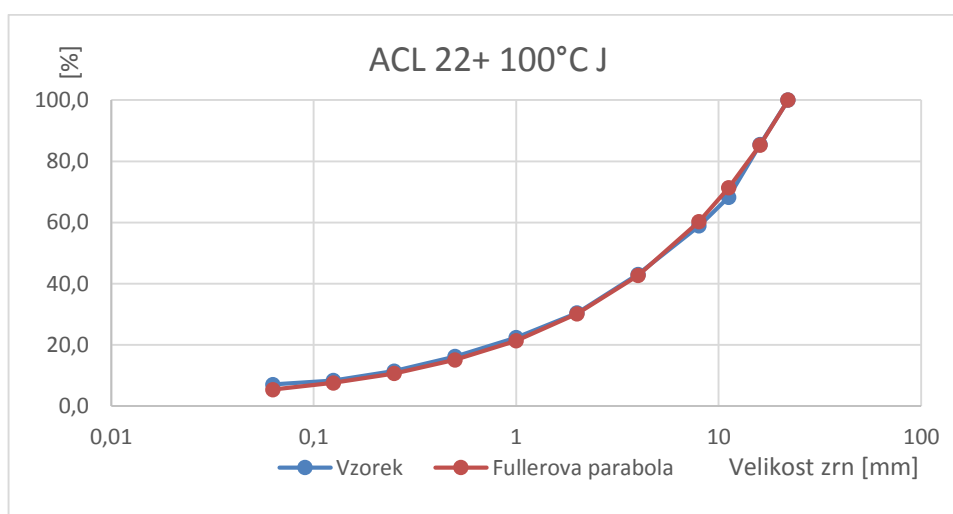
- Obsah asfaltu 4,3%

Tabulka 53 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, jemná část, ACP 22+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	724,2	Plné	3024,4
Plná	754,6	Prázdné	2546
$m_{\text{jemných částic}}$	30,4	$m_{\text{kameniva}}$	478,4

Tabulka 54 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACL 22+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
22	0	0,0	0,0	100,0
16	69,6	14,5	14,5	85,5
11,2	82,4	17,2	31,8	68,2
8	44,8	9,4	41,1	58,9
4	75,8	15,8	57,0	43,0
2	60,3	12,6	69,6	30,4
1	38,5	8,0	77,6	22,4
0,5	29,6	6,2	83,8	16,2
0,25	22,7	4,7	88,6	11,4
0,125	14,9	3,1	91,7	8,3
0,063	6,2	1,3	93,0	7,0
propad	32,2	6,7	99,7	0,3
$\Sigma$	477	Kontrola	0,3%	



Obr. 5.49 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACL 22+

## 100°C – Hrubá část

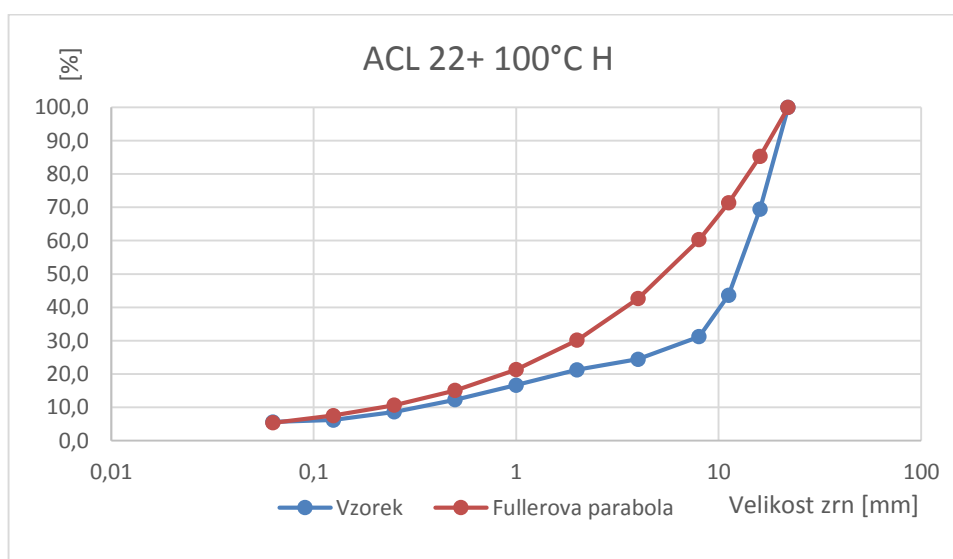
- Obsah asfaltu 3,4%

Tabulka 55 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACP 22+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	715,4	Plné	1835
Plná	742	Prázdné	1351,9
$m_{\text{jemných částic}}$	26,6	$m_{\text{kameniva}}$	483,1

Tabulka 56 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACL 22+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
22	0	0,0	0,0	100,0
16	147,6	30,6	30,6	69,4
11,2	124,6	25,8	56,3	43,7
8	60,2	12,5	68,8	31,2
4	32,7	6,8	75,6	24,4
2	15,2	3,1	78,7	21,3
1	22,4	4,6	83,4	16,6
0,5	21,1	4,4	87,7	12,3
0,25	17,7	3,7	91,4	8,6
0,125	11,7	2,4	93,8	6,2
0,063	2,9	0,6	94,4	5,6
propad	27	5,6	100,0	0,0
$\Sigma$	483,1	Kontrola	0,0%	

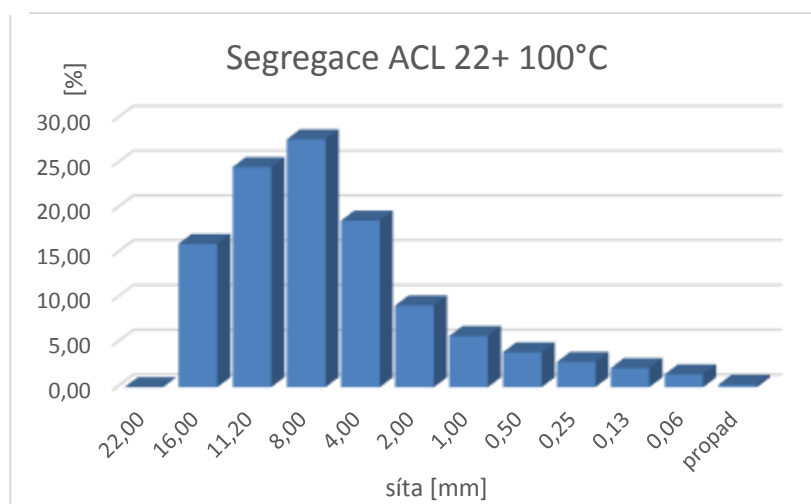


Obr. 5.50 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACL 22+

Hodnota segregace:

Tabulka 57 - Hodnota segregace při 150°C, ACP 22S

Síta [mm]	Segregace
22	0,00
16	16,00
11,2	24,57
8	27,67
4	18,59
2	9,13
1	5,72
0,5	3,90
0,25	2,82
0,125	2,13
0,063	1,43
propad	0,29



Obr. 5.51 - Hodnota segregace při 150°C, ACP 22S

I poslední zkoumaný vzorek vykazoval stejné závislosti, jako předcházející vzorky. I zde je segregace směsi při vyšší teplotě menší. A i zde je patrný jiný průběh čar zrnitosti.

## 150°C – Jemná část

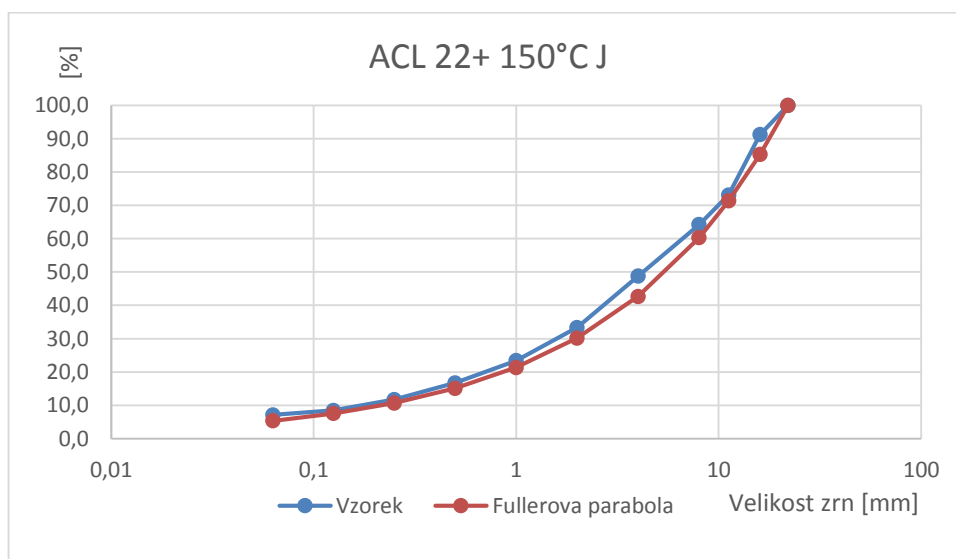
- Obsah asfaltu 4,8%

Tabulka 58 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACP 22+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	723,8	Plné	3021,9
Plná	755,2	Prázdné	2546
$m_{\text{jemných částic}}$	31,4	$m_{\text{kameniva}}$	475,9

Tabulka 59 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACL 22+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
22	0	0,0	0,0	100,0
16	41,8	8,8	8,8	91,2
11,2	86,1	18,1	26,9	73,1
8	42,3	8,9	35,8	64,2
4	73,7	15,5	51,3	48,7
2	73,3	15,4	66,7	33,3
1	47,4	10,0	76,6	23,4
0,5	31,8	6,7	83,3	16,7
0,25	23,7	5,0	88,3	11,7
0,125	15,5	3,3	91,5	8,5
0,063	6,4	1,3	92,9	7,1
propad	33	6,9	99,8	0,2
$\Sigma$	475	Kontrola	0,2%	



Obr. 5.52 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACL 22+

## 150°C – Hrubá část

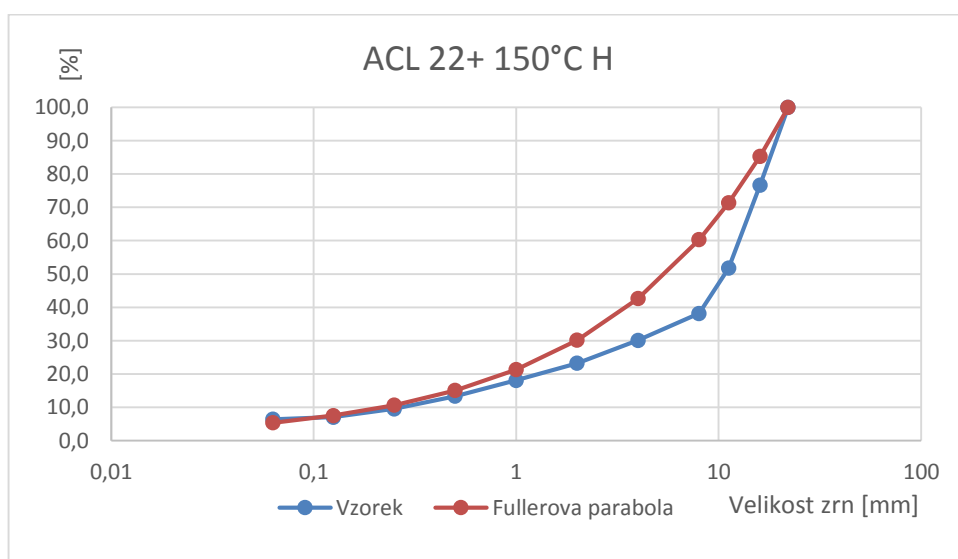
- Obsah asfaltu 2,7%

Tabulka 60 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACP 22+

Hmotnost patrony [g]		Hmotnost nádob [g]	
Prázdná	715,3	Plné	1838
Plná	743,7	Prázdné	1351,7
$m_{\text{jemných částic}}$	28,4	$m_{\text{kameniva}}$	486,3

Tabulka 61 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACL 22+

Rozměry ok na sítích [mm]	Hmotnost dílčího zbytku [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítím [%]
22	0	0,0	0,0	100,0
16	113,7	23,4	23,4	76,6
11,2	120,8	24,8	48,2	51,8
8	66,1	13,6	61,8	38,2
4	39,4	8,1	69,9	30,1
2	33,4	6,9	76,8	23,2
1	25	5,1	81,9	18,1
0,5	23	4,7	86,7	13,3
0,25	18,5	3,8	90,5	9,5
0,125	12,2	2,5	93,0	7,0
0,063	3	0,6	93,6	6,4
propad	29,5	6,1	99,7	0,3
$\Sigma$	484,6	Kontrola	0,3%	

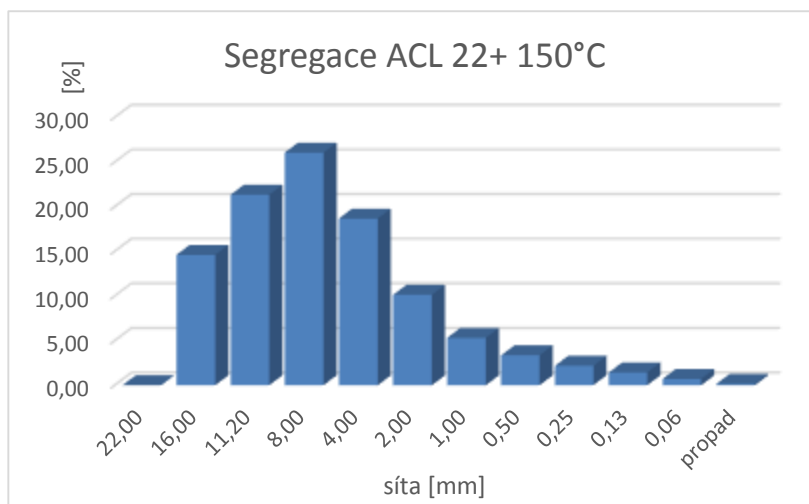


Obr. 5.53 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACL 22+

Hodnota segregace:

Tabulka 62 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 22+

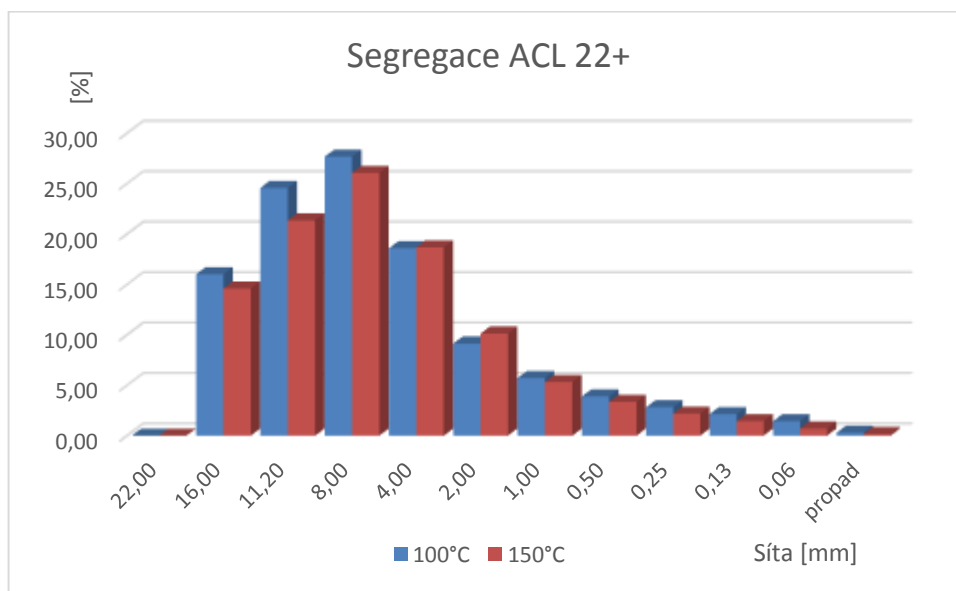
Síta [mm]	Segregace
22	0,00
16	14,60
11,2	21,35
8	26,05
4	18,67
2	10,13
1	5,31
0,5	3,36
0,25	2,18
0,125	1,44
0,063	0,71
propad	0,16



Obr. 5.54 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 22

I když ne tak výrazně jako v předcházejících případech, ale i zde je hodnota segregace nižší při vyšší teplotě. Čáry zrnitosti se výrazně nemění.

Srovnání segregace při různých teplotách:



Obr. 5.55 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACP 22+

Zde je předcházející tvrzení lépe vidět na srovnávacím grafu. Opět kromě jednoho síta vychází u vzorků zkoumaných při 100°C segregace vyšší.



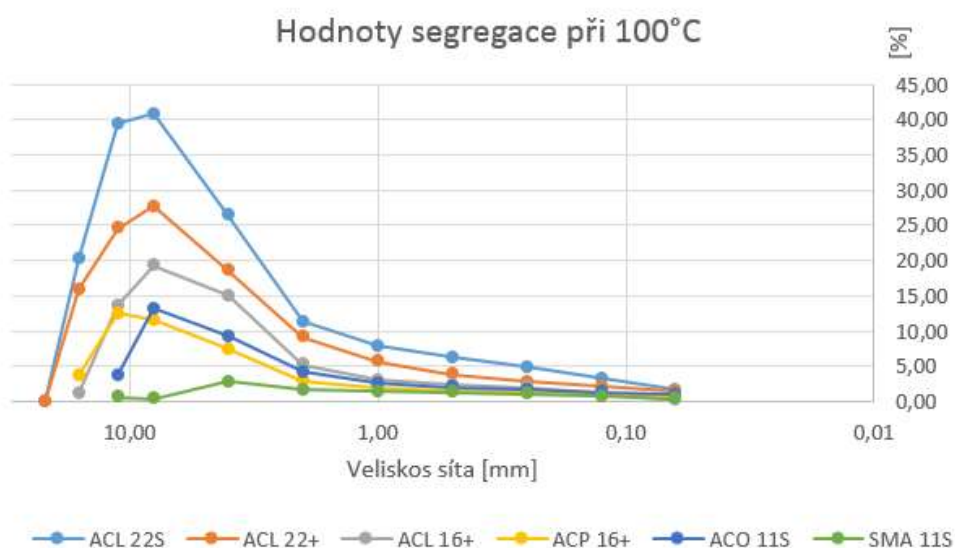
### 5.5.7 Shrnutí výsledků:

V následujících dvou tabulkách a dvou grafech jsou pouze shrnuty poznatky z předchozích stran. Hodnoty segregace asfaltové směsi jsou pro všechny zkoumané vzorky pro přehlednost umístěny do jedné tabulky a jednoho grafu. První srovnání je pro nižší teplotu 100°C, následuje pro 150°C.

- 100°C

Tabulka 63 - Hodnota segregace u jednotlivých směsí při 100°C

síta[mm]	ACL 22S	ACL 22+	ACL 16+	ACP 16+	ACO 11S	SMA 11S
22	0,00	0,00	-	-	-	-
16	20,33	16,00	1,14	3,71	-	-
11,2	39,39	24,57	13,65	12,50	3,70	0,59
8	40,82	27,67	19,28	11,53	13,17	0,39
4	26,40	18,59	15,04	7,37	9,24	2,88
2	11,33	9,13	5,27	2,95	4,17	1,74
1	7,88	5,72	3,03	1,99	2,66	1,51
0,5	6,31	3,90	2,41	1,46	2,03	1,31
0,25	4,83	2,82	2,06	1,17	1,61	1,06
0,125	3,27	2,13	1,31	0,93	1,31	0,79
0,063	1,63	1,43	0,24	0,71	1,00	0,44
propad	0,11	0,29	0,02	0,02	0,08	0,22

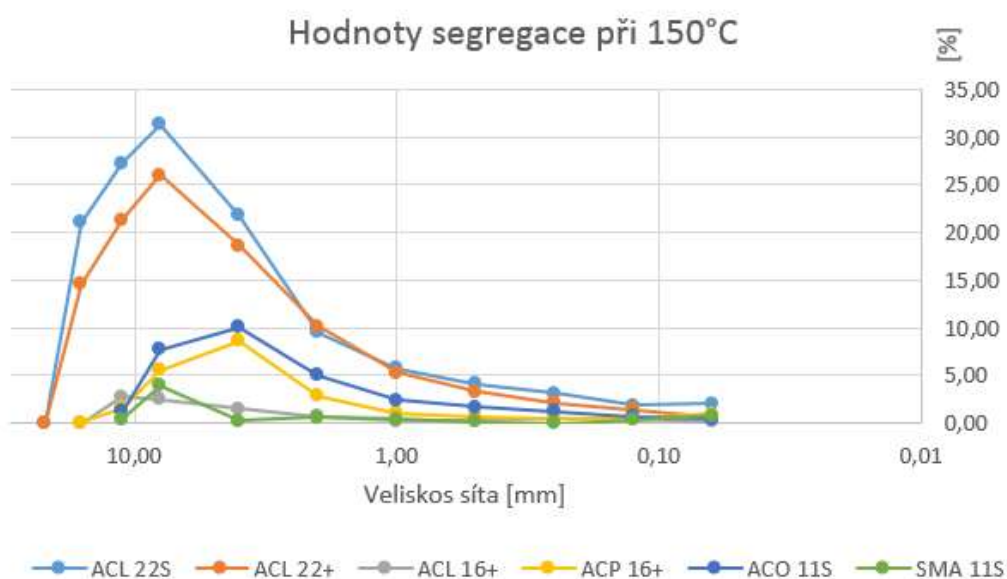


Obr. 5.56 - Hodnota segregace u jednotlivých směsí při 100°C

- 150°C

Tabulka 64 - Hodnota segregace u jednotlivých směsí při 150°C

síta[mm]	ACL 22+	ACL 22S	ACP 16+	ACL 16+	ACO 11S	SMA 11S
22	0,00	0,00	-	-	-	-
16	14,60	21,06	0,08	0,00	-	-
11,2	21,35	27,23	1,59	2,76	1,24	0,45
8	26,05	31,30	5,58	2,54	7,73	3,92
4	18,67	21,75	8,68	1,52	10,04	0,31
2	10,13	9,52	2,89	0,72	5,07	0,66
1	5,31	5,73	1,05	0,25	2,42	0,48
0,5	3,36	4,16	0,73	0,33	1,67	0,18
0,25	2,18	3,11	0,57	0,47	1,23	0,03
0,125	1,44	1,89	0,47	0,57	0,76	0,36
0,063	0,71	2,09	1,01	0,21	0,44	0,86
propad	0,16	0,18	0,31	0,00	0,03	0,25



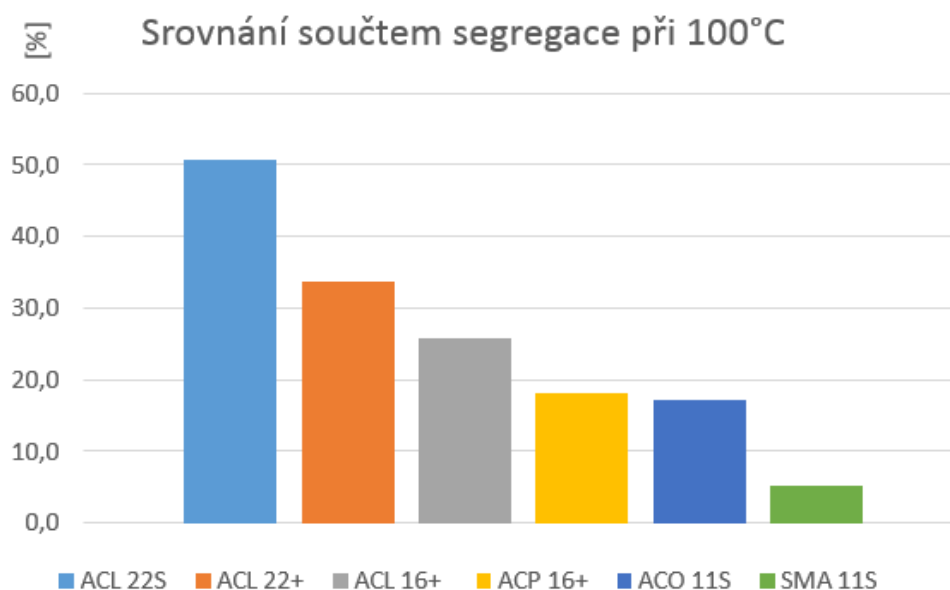
Obr. 5.57 - Hodnota segregace u jednotlivých směsí při 150°C

Při teplotě 100°C vyšla nejvyšší hodnota segregace u směsí s maximálním zrnem kameniva 22 mm. Přesněji u směsi ACL 22S. Naopak nejnižší hodnota vyšla u obrusné vrstvy SMA 11S. Místo druhé nejnižší segregace směsí zaujímá směs ACP 16+, po ní následuje ACO 11S a ACL 16+. Je možné konstatovat, že až na jedno prohození směsí, segregace roste s větší velikostí maximálního zrna kameniva směsí.

Rovněž i při teplotě 150°C vyšla nejvyšší hodnota segregace u hrubozrnných podkladních vrstev ACL 22S a ACL 22+. Stejná situace je i na druhé straně, nejnižší hodnota vyšla u směsi SMA 11S. Na druhém místě s nejnižší segregací je směs ACP 16+, následuje ACL 16+ a ACO 11S. Při teplotě 150°C není tak jasně prokazatelné, jak se segregace směsi mění v závislosti na velikosti zrna u směsí asfaltových betonů s maximální velikostí 11 a 16 mm.

Určité srovnání můžeme získat, pokud sečteme jednotlivé hodnoty segregace na sítích. Vzhledem ke skutečnosti, že u směsí se prováděl síťový rozbor na různých počtech sít, bylo by pouhé sečtení všech hodnot segregace neobjektivní. Byly vybrány hodnoty segregace na sítích D, D/2 a 2 mm, ostatně takové velikosti sít, na kterých norma doporučuje zkoumat hodnotu segregace. U směsi s maximálním zrnem 11 mm bylo za síta D/2 zvoleno síto o velikosti otvoru 4 mm.

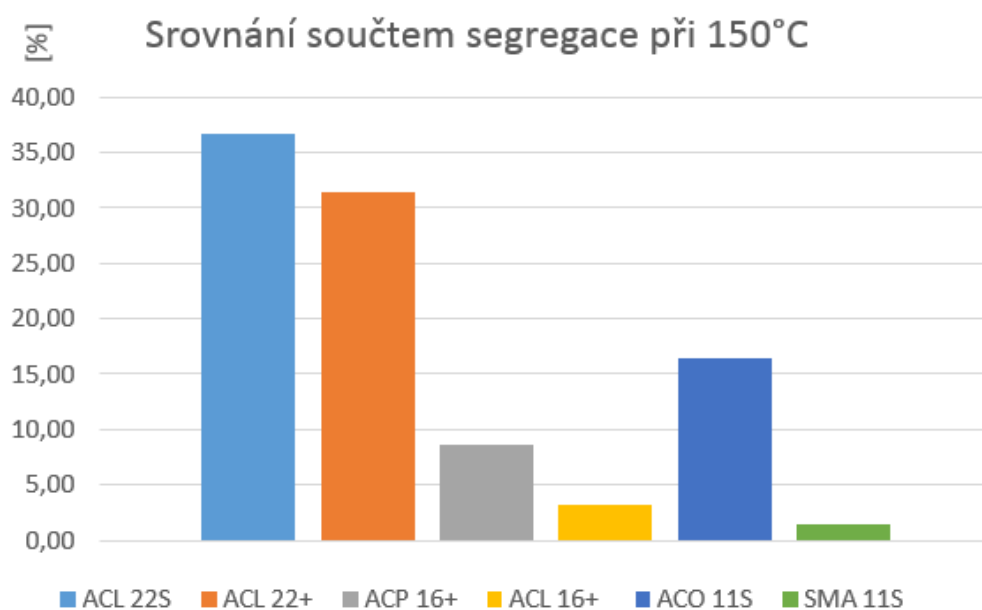
- 100°C



Obr. 5.58 - Srovnání součtem segregace při 100°C

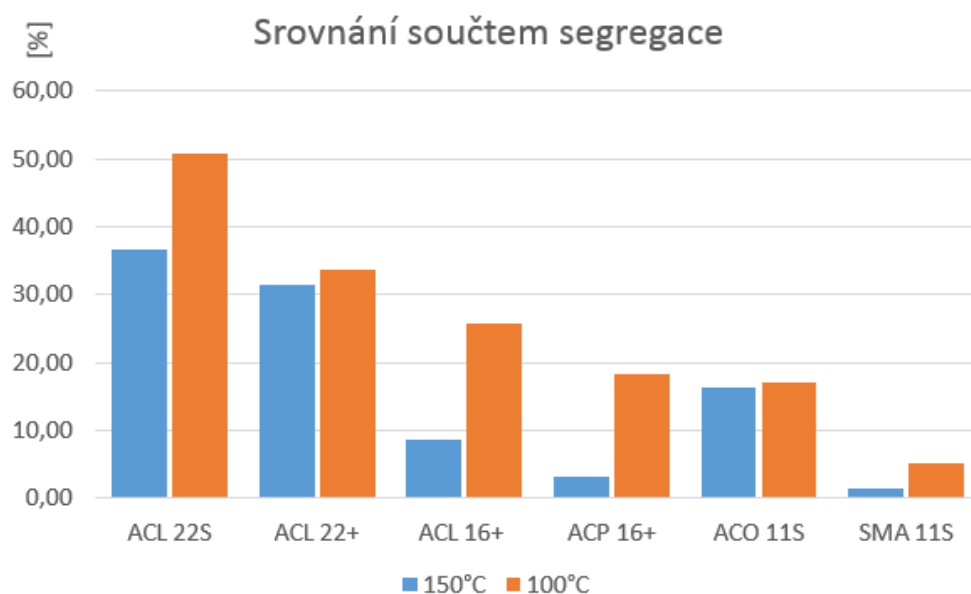
Zjistíme, že při teplotě 100°C je závislost na velikosti maximálního zrna bez výjimky, jak je vidět na obr. 5.58. U 150°C to už bez výjimky není, tak bylo popsáno výše. Hodnota segregace u směsi ACO 11S je větší, než u obou směsí s velikostí maximálního zrna 16 mm (Obr. 5.59).

150°C



Obr. 5.59 - Srovnání součtem segregace při 150°C

Pro názornost uvádím na obr. 5.60 srovnání hodnoty sečtené segregace na daných sítích při obou teplotách. I zde je vidět při menší teplotě větší hodnota segregace.



Obr. 5.60 - Srovnání součtem segregace při obou teplotách

## 6 Závěr

Z výsledků práce vyplynulo, že segregace asfaltových směsí je závislá na teplotě zpracování. Se snižující se teplotou asfaltové směsi od optima pro hutnění (cca 150°C) hodnota segregace směsi v globálním měřítku stoupá, jak je vždy popsáno v závěru jednotlivých zkoušených směsí. To je způsobeno především jinou viskozitou pojiva, tedy asfaltu. Asfalt při nízké teplotě nemá dostatečnou „vaznost“ k tomu, aby spojil jednotlivá zrna směsi, a proto zrna mají menší odpor proti vzájemnému odvalování po sobě.

Toto je problém především u dopravy směsi, protože při dopravě na velké vzdálenosti může dojít k nadměrnému ochlazení povrchu dávky směsi, nebo k nestejnému ochlazování směsi u okrajů korby vozidla.

Rovněž byla zjištěna závislost hodnoty segregace směsi na velikosti maximálních zrn kameniva ve směsi. Bylo dokázáno, že hodnota segregace roste s rostoucím maximálním zrnem. U teploty 100°C je toto tvrzení splněno u každé směsi, u optimální teploty hutnění 150°C, směsi s maximálním zrnem 16 mm měli hodnotu segregace směsi menší než směs ACO 11S. Stále ale platí, že segregace u obrusných směsí o maximální velikosti kameniva 11 mm byla např. u teploty 150°C do 10%, a ložní vrstva s maximálním zrnem 22 mm při té samé teplotě vykazovala segregaci až 30%. Rozdíl v segregaci mezi směsí o maximální velikosti zrna 11 mm a 22 mm je nevyvratitelný. Bylo ovšem dokázáno, že zkouška podle ČSN EN 19697-15 je vhodná pouze pro zkoušení asfaltových směsí o maximální frakci kameniva 16 mm a výše.

K segregaci u asfaltových koberců mastixových téměř nedochází. Je to především z důvodu použití modifikovaných asfaltů, které mají lepší pojící vlastnosti a rovněž v konkrétním případě použitím vláken typu TECHNOCEL nebo TOPCEL, primárně určených pro snížení stékavosti pojiva.

K segregaci směsi tedy nejvíce dochází u hrubozrnných podkladních asfaltových betonů typu ACP 22S; ACP 22+; ACP 22. Je tedy důležité právě při pokládce těchto krytových vrstev dbát zvýšené pozornosti a opatrnosti na nadměrné ochlazování směsi, které by vedlo ke zvýšení segregace směsi a dále k především nedostatečnému zhutnění asfaltové vrstvy. Teplota směsi by neměla z důvodů zvýšeného rizika segregace klesnout pod 130 °C.

## 7 Použitá literatura

- [1] Slova od S. In: Online slovník: Slova A-Z [online]. 2013 [cit. 2013-09-28]. Dostupné z: <http://slovník.online-clanky.cz/s/strana-13/>
- [2] Silnice a dálnice v České republice. In: Ředitelství silnic a dálnic [online]. 2013 [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: [http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/0/00712811179E3270C1257C08005CD18B/\\$file/RSD2013cz.pdf](http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/0/00712811179E3270C1257C08005CD18B/$file/RSD2013cz.pdf)
- [3] MONDSCHEN, Petr. Přednáška č. 5 – Asfaltové směsi, předmět 136SS2 - Silniční stavby 2. Dostupné z <http://mondy.webnode.cz/prednasky/>
- [4] HÝZL, Petr a Michal VARAUS. Funkční zkoušky asfaltových směsí. *Časopis Stavebnictví*. 2007, roč. 2007, 06-07. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=278>
- [5] Učební texty předmětu BM02
- [6] HÝZL, Petr. *Praktické aplikace v pozemních komunikacích: Asfaltové směsi*. Brno, 2006.
- [7] ČSN EN 13108-1. Asfaltové směsi: Specifikace pro materiály - Část 1: Asfaltový beton. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [8] BORTLÍK, Petr a Jiří ZEGZULKA. Segregace sypkých hmot na dopravních trasách. In: *Metal 2008* [online]. 2008. Dostupné z: [http://www.metal2014.com/files/proceedings/metal\\_08/Lists/Papers/164.pdf](http://www.metal2014.com/files/proceedings/metal_08/Lists/Papers/164.pdf)
- [9] ZÁMOSTNÝ, Petr. Přednáška číslo 6 – mísení a segregace sypkých hmot, předmět ICHFV - Syntéza a výroba léčiv, dostupné z <http://tresen.vscht.cz/kot/wp-content/uploads/2010/miseni-a-segregace-sypkych-hmot/2010-06-miseni-2x1.pdf>
- [10] *Iowa state university: Institute for transportation* [online]. 2009 [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <http://www.ctre.iastate.edu/research/detail.cfm?projectID=-1425669311>
- [11] TOMÁŠ, Jan. *Segregace nestmelených směsí vrstev vozovky pozemních komunikací*. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

- [12] Segregation: Causes and cures for hot mix asphalt. [online]. 1997 [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <http://www.in.gov/indot/files/segregationAsphalt.pdf>
- [13] Aggregate Segregation: Useful Resources & Education Materials. *Pavia Systems* [online]. [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <http://blog.paviasystems.com/2009/08/19/aggregate-segregation/>
- [14] Roadtec. *Roadtec* [online]. 2013 [cit. 2013-09-01]. Dostupné z: <http://www.roadtec.com/>
- [15] ČSN EN 12697-15. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka: Část 15: Stanovení citlivosti asfaltových směsí k segregaci*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [16] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva: Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Praha: Český normalizační institut, 1998

## 8 Seznam obrázků

Obr. 1.1 – Plynulá křivka zrnitosti asfaltové směsi ACO 11+ .....	17
Obr. 1.2 - Přerušená křivka zrnitosti směsi SMA 11S .....	18
Obr. 2.1 - Různé druhy segregace, převzato z [8] .....	19
Obr. 2.2 - Segregace kameniva, převzato z [10] .....	21
Obr. 2.3 - Segregace asfaltové směsi .....	21
Obr. 2.4 - Volný pád, převzato z [8] .....	23
Obr. 2.5 - Dopravní skluz, převzato z [8] .....	23
Obr. 2.6 - Segregace klidného toku, převzato z [8] .....	24
Obr. 2.7 - Plnění a vyprazdňování zásobníku, převzato z [8] .....	25
Obr. 3.1 - Nakládka vozidla bez posunování, převzato z [12] .....	26
Obr. 3.2 - Plnění přední části korby vozidla, převzato z [13] .....	26
Obr. 3.3 - Plnění zadní části korby vozidla, převzato z [13] .....	27
Obr. 3.4 - Plnění střední části korby vozidla, převzato z [13] .....	27
Obr. 4.1 – Vozidlo Shuttle Buggy, převzato z [14] .....	28
Obr. 4.2 – Vozidlo MTV-1000, převzato z [14] .....	28
Obr. 4.3 - Příčiny segregace, převzato z [14] .....	29
Obr. 4.4 - Teplotní rozdíly směsi, převzato z [14] .....	29
Obr. 4.5 - Směs bez promísení, převzato z [14] .....	30
Obr. 4.6 - Směs s promísením, převzato z [14] .....	30
Obr. 4.7 - Špatná směs, převzato z [14] .....	30
Obr. 4.8 - Shuttle Buggy, převzato z [14] .....	31
Obr. 4.9 - MTV – 1000, převzato z [14] .....	31
Obr. 4.10 - Šnek s trojitým stoupáním, převzato z [14] .....	32
Obr. 4.11 - Šnek s jednoduchým stoupáním, převzato z [14] .....	32
Obr. 4.12 - Princip míchání u MTV, převzato z [14] .....	33
Obr. 4.13 - Systém míchání MTV – 1000, převzato z [14] .....	33
Obr. 5.1 - Segregátor, převzato z [15] .....	35
Obr. 5.2 - Sestavený segregátor .....	36
Obr. 5.3 - Zkušební vzorek padá na plošinu .....	37
Obr. 5.4 - Otevřený vnitřní otvor .....	37



Obr. 5.5 - Střední část vzorku .....	38
Obr. 5.6 - Zbytek směsi na plošině .....	38
Obr. 5.7 - Rozdělení směsi na 4 stejně velké plochy .....	39
Obr. 5.8 - Odstranění ploch na úhlopříčce .....	39
Obr. 5.9 - Přístroj na extrakci asfaltu .....	40
Obr. 5.10 - Patrona na zachycování jemného kameniva .....	40
Obr. 5.11 - Násypka přístroje .....	41
Obr. 5.123 - Roztok s minimálním množstvím asfaltu .....	41
Obr. 5.13 - Přístroj na provádění síťového rozboru .....	42
Obr. 5.14 - Křivka zrnitosti při 115°C, jemná část, SMA 11S .....	45
Obr. 5.15 - Křivka zrnitosti při 115°C, hrubá část, SMA 11S .....	46
Obr. 5.16 - Hodnota segregace při 115°C, SMA 11S .....	47
Obr. 5.17 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, SMA 11S .....	48
Obr. 5.18 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, SMA 11S .....	49
Obr. 5.19 - Hodnota segregace při 150°C, SMA 11S .....	50
Obr. 5.20 - Hodnota segregace při různých teplotách, SMA 11S .....	50
Obr. 5.21 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACO 11S .....	51
Obr. 5.22 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACO 11S .....	52
Obr. 5.23 - Hodnota segregace při 100°C, ACO 11S .....	53
Obr. 5.24 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACO 11S .....	54
Obr. 5.25 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACO 11S .....	55
Obr. 5.26 - Hodnota segregace při 150°C, ACO 11S .....	56
Obr. 5.27 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACO 11S .....	56
Obr. 5.28 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACL 16+ .....	57
Obr. 5.29 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACL 16+ .....	58
Obr. 5.30 - Hodnota segregace při 100°C, ACL 16+ .....	59
Obr. 5.31 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACL 16+ .....	60
Obr. 5.32 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACL 16+ .....	61
Obr. 5.33 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 16+ .....	62
Obr. 5.34 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACL 16+ .....	62
Obr. 5.35 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACP 16+ .....	63

Obr. 5.36 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACP 16+ .....	64
Obr. 5.37 - Hodnota segregace při 100°C, ACP 16+ .....	65
Obr. 5.38 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACP 16+ .....	66
Obr. 5.39 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACP 16+ .....	67
Obr. 5.40 - Hodnota segregace při 150°C, ACP 16+ .....	68
Obr. 5.41 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACP 16+ .....	68
Obr. 5.42 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACL 22S .....	69
Obr. 5.43 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACL 22S .....	70
Obr. 5.44 - Hodnota segregace při 100°C, ALP 22S .....	71
Obr. 5.45 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACL 22S .....	72
Obr. 5.46 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACL 22S .....	73
Obr. 5.47 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 22S .....	74
Obr. 5.48 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACL 22S .....	74
Obr. 5.49 - Křivka zrnitosti při 100°C, jemná část, ACL 22+ .....	75
Obr. 5.50 - Křivka zrnitosti při 100°C, hrubá část, ACL 22+ .....	76
Obr. 5.51 - Hodnota segregace při 150°C, ACP 22S .....	77
Obr. 5.52 - Křivka zrnitosti při 150°C, jemná část, ACL 22+ .....	78
Obr. 5.53 - Křivka zrnitosti při 150°C, hrubá část, ACL 22+ .....	79
Obr. 5.54 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 22 .....	80
Obr. 5.55 - Hodnota segregace při různých teplotách, ACP 22+ .....	80
Obr. 5.56 - Hodnota segregace u jednotlivých směsí při 100°C .....	81
Obr. 5.57 - Hodnota segregace u jednotlivých směsí při 150°C .....	82
Obr. 5.58 - Srovnání součtem segregace při 100°C .....	83
Obr. 5.59 - Srovnání součtem segregace při 150°C .....	84
Obr. 5.60 - Srovnání součtem segregace při obou teplotách .....	84

## 9 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Empirické vlastnosti asfaltových směsí [101] .....	13
Tabulka 2 - Funkční vlastnosti asfaltových směsí [101] .....	13
Tabulka 3 - Hmotnost patrony a nádob při 115°C, jemná část, SMA 11S .....	45
Tabulka 4 - Sítový rozbor při 115°C, jemná část, SMA 11S .....	45

Tabulka 5 - Hmotnost patrony a nádob při 115°C, hrubá část, SMA 11S .....	46
Tabulka 6 - Sítový rozbor při 115°C, hrubá část, SMA 11S.....	46
Tabulka 7 - Hodnoty segregace při 115°C, SMA 11S.....	47
Tabulka 8 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, SMA 11S .....	48
Tabulka 9 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, SMA 11S .....	48
Tabulka 10 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, SMA 11S .....	49
Tabulka 11 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, SMA 11S.....	49
Tabulka 12 - Hodnota segregace při 150°C, SMA 11S.....	50
Tabulka 13 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, jemná část, ACO 11S .....	51
Tabulka 14 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACO 11S.....	51
Tabulka 15 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACO 11S.....	52
Tabulka 16 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACO 11S .....	52
Tabulka 17 - Hodnota segregace při 100°C, ACO 11S .....	53
Tabulka 18 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACO 11S .....	54
Tabulka 19 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACO 11S.....	54
Tabulka 20 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACO 11S.....	55
Tabulka 21 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACO 11S .....	55
Tabulka 22 - Hodnota segregace při 150°C, ACO 11S .....	56
Tabulka 23 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, jemná část, ACL 16+ .....	57
Tabulka 24 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACL 16+ .....	57
Tabulka 25 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACL 16+ .....	58
Tabulka 26 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACL 16+ .....	58
Tabulka 27 - Hodnota segregace při 100°C, ACL 16+ .....	59
Tabulka 28 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACL 16+.....	60
Tabulka 29 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACL 16+ .....	60
Tabulka 30 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACL 16+ .....	61
Tabulka 31 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACL 16+ .....	61
Tabulka 32 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 16+ .....	62
Tabulka 33 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, jemná část, ACP 16+ .....	63
Tabulka 34 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACP 16+ .....	63
Tabulka 35 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACP 16+ .....	64

Tabulka 36 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACP 16+ .....	64
Tabulka 37 - Hodnota segregace při 100°C, ACP 16+ .....	65
Tabulka 38 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACP 16+ .....	66
Tabulka 39 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACP 16+ .....	66
Tabulka 40 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACP 16+ .....	67
Tabulka 41 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACP 16+ .....	67
Tabulka 42 - Hodnota segregace při 150°C, ACP 16+ .....	68
Tabulka 43 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, jemná část, ACL 22S .....	69
Tabulka 44 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACL 22S .....	69
Tabulka 45 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACL 22S .....	70
Tabulka 46 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACL 22S .....	70
Tabulka 47 - Hodnota segregace při 100°C, ALP 22S .....	71
Tabulka 48 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACL 22S .....	72
Tabulka 49 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACL 22S .....	72
Tabulka 50 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACL 22S .....	73
Tabulka 51 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACL 22S .....	73
Tabulka 52 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 22S .....	74
Tabulka 53 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, jemná část, ACP 22+ .....	75
Tabulka 54 - Sítový rozbor při 100°C, jemná část, ACL 22+ .....	75
Tabulka 55 - Hmotnost patrony a nádob při 100°C, hrubá část, ACP 22+ .....	76
Tabulka 56 - Sítový rozbor při 100°C, hrubá část, ACL 22+ .....	76
Tabulka 57 - Hodnota segregace při 150°C, ACP 22S .....	77
Tabulka 58 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, jemná část, ACP 22+ .....	78
Tabulka 59 - Sítový rozbor při 150°C, jemná část, ACL 22+ .....	78
Tabulka 60 - Hmotnost patrony a nádob při 150°C, hrubá část, ACP 22+ .....	79
Tabulka 61 - Sítový rozbor při 150°C, hrubá část, ACL 22+ .....	79
Tabulka 62 - Hodnota segregace při 150°C, ACL 22+ .....	80
Tabulka 63 - Hodnota segregace u jednotlivých směsí při 100°C .....	81
Tabulka 64 - Hodnota segregace u jednotlivých směsí při 150°C .....	82

## **10 Seznam zkratek**

SHR - Strategic highway research

AC – Asphalt concrete

ACO – Asfaltový beton pro ohrusné vrstvy

ACL – Asfaltový beton pro ložní vrstvy

ACP – Asfaltový beton pro podkladní vrstvy

SMA – Asfaltový koberec mastixový

PA – Asfaltový koberec drenážní

MA – Litý asfalt

MTV - material transfer vehicle

D – maximální frakce kameniva směsi

## **11 Seznam příloh**

Formulář pro propad segregátorem dle ČSN EN 12697-15